

PROPUESTA DE PANELES PREFABRICADOS PARA
PARTICIONES INTERIORES CON COMPUESTO DE
YESO REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO
OBTENIDAS DE RESIDUOS DE TOALLITAS HÚMEDAS.

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Fundamentos de la Arquitectura
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Curso 2018-2019, Grupo TFG-H
Sevilla, 18 junio 2019

Autor: Silva Collado, Daniel
Tutora: Rubio de Hita, Paloma
Grupo Docente: Fernández Nieto, Enrique D.
César Frustaglia, Diego



INDICE

Agradecimientos.
Resumen. Palabras claves.
Abstract. Key words.

1. INTRODUCCIÓN*.	9
2. ESTADO DE CUESTIÓN*.	15
3. OBJETIVOS*.	21
3.1. Objetivos globales.	
3.2. Objetivos específicos.	
4. HIPÓTESIS DE PARTIDA*.	23
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO*.	25
6. PLAN EXPERIMENTAL*.	27
6.1 Introducción metodológica, normativa de referencia.	
6.2 Elaboración de probetas.	
6.3 Dimensiones de probetas.	
6.4 Ensayos de caracterización.	
6.4.1 Ensayos densidad aparente.	
6.4.2 Ensayos de comportamiento mecánico.	
6.4.2.1 Flexión.	
6.4.2.2 Compresión.	
6.4.3 Ensayo de absorción acústica.	
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS.	37
7.1. Ensayos densidad aparente	
7.1.1 Resultados.	
7.1.2 Análisis resultados.	
7.2. Ensayos de comportamiento mecánico.	
7.2.1 Flexión.	
7.2.1.1 Resultados.	
7.2.1.2 Análisis resultados.	
7.2.2 Compresión.	
7.2.2.1 Resultados.	
7.2.2.2 Análisis resultados.	
7.3. Ensayos de comportamiento acústico (absorción acústica).	
7.2.3.1 Resultados.	
7.2.3.2 Análisis resultados.	
7.4. Conclusiones.	

8. DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO.	61
8.1 Producto de referencia.	
8.2 Definición del producto propuesto	
9. APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO.	67
10. DISCUSIÓN RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	71
11. BIBLIOGRAFÍA.	77
12. ANEXO.	81

*Los apartados 1. Introducción, 2. Estado de cuestión, 3. Objetivos, 4. Hipótesis de partida, 5. Metodología experimental y 6. Plan experimental (pág. 09 a pág 34) es el resultado de una investigación conjunta con mis compañeros José Fernando Fernández Espínola y Julia Rojas Bejarano. Siendo el contenido en estos apartados similares en los tres trabajos.



Rastrillo mecánico de una planta de tratamiento de Nueva York llena de restos de toallitas húmedas, Fuente: *The New York Times*, Karsten Morar.

AGRADECIMIENTOS.

Después de un intenso periodo de aprendizaje y de introducción en el ámbito de la investigación, quería dar las gracias a mi tutora Paloma Rubio de Hita por la ayuda mostrada, como a todo el equipo docente, Enrique D. Fernández Nieto y Diego César Frustaglia.

Sin olvidarme del trabajo en equipo de mis compañeros Fernando Fernández Espínola y Julia Rojas Bejarano en la primera etapa. Como la ayuda mostrada por parte de M. Alejandro Pedreño Rojas y del equipo de laboratorio del departamento de Construcciones Arquitectónicas I que han hecho posible esta investigación.

RESUMEN. PALABRAS CLAVES.

Este trabajo analiza la influencia de las fibras de polipropileno obtenidas de residuos de toallitas húmedas. Estudiando sus propiedades mecánicas (resistencia a flexión y a compresión) en un total de 21 muestras con diferentes formas de disponer el residuo (capas, tiras o agregado). A lo que se le suma, 5 muestras con tratamientos superficiales, dados con residuos de toallitas, para analizar su absorción acústica. Obteniendo una reducción de peso del compuesto en las muestras con la disposición en forma de tiras y agregado. Y un aumento de resistencia a flexión por parte de las muestras con toallitas dispuestas en forma de capa y agregado.

Finalmente, se lleva a cabo su aplicación en un producto constructivo, paneles prefabricados, y la aplicación de dicho producto en un proyecto arquitectónico. Verificando el impacto medioambiental que supondría la reutilización de un tipo de residuo que actualmente genera numerosos problemas medioambientales, económicos y urbanos.

Palabras claves: yeso, residuos PP, toallitas húmedas, reciclaje, propiedades mecánicas, aplicaciones

ABSTRACT. KEY WORDS.

This work analyzes the influence of adding polypropylene fibers from recycled wet wipe waste. Studying its mechanical properties (resistance to bending and compression) in a total of 21 mixtures produced with different disposition of the waste (layers, strips or aggregate). In addition, 5 mixtures with surface treatments, given with wet wipes, to analyze their acoustic absorption. Getting a weight reduction of the mixtures with the disposition in the form of strips and aggregate. Furthermore, an increase in bending resistance in the case of mixtures with wet wipes disposed in layer and aggregate form.

Finally, it is carried out in a constructive product, prefabricated panels, and their application in an architectural project. Checking the environmental impact that it would suppose reusing this type of waste, which it generates environmental, economic and urban problems.

Key words: gypsum, waste PP, wet wipes, recycling, mechanical properties, acoustic absorption, applications.



"Vivimos en una sociedad desechable. Es más fácil tirar cosas que arreglarlas. Incluso le damos un nombre; lo llamamos reciclaje." - Neil LaBute

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace 100 años [1], los plásticos llegaron con el objetivo de encontrar un material que tuviera mejores propiedades, que las materias primas que nos proporcionaba la Tierra. Actualmente, este material sintético o semisintético [2], ha ido evolucionando para aplicarse en la mayoría de objetos y procesos que rodean nuestra vida cotidiana; desde envases, embalajes, en medios de transporte, en dispositivos eléctricos y electrónicos, en la agricultura, en el deporte y ocio, en la sanidad, en medios de producción energética, y en la propia edificación y procesos constructivos.

Como se puede observar, el plástico es un material versátil que se utiliza en diferentes aspectos. Esto es debido a sus propiedades de ligereza, de aislamiento térmico y eléctrico, a su durabilidad y a su maleabilidad. Además, de ser un material que puede modificar sus propiedades físicas si así se requiere. No obstante, este material se puede dividir en dos grandes familias, los termoestables y los termoplásticos, siendo estos últimos los más relevantes en nuestras vidas.

Sin embargo, el uso de este material tiene una cara B. Uno de los principales inconvenientes del uso del plástico es la gran contaminación que se produce en su proceso de fabricación, generando gases de efecto invernadero, consumiendo considerablemente energía y materias primas. A esto hay que añadirle el problema de descomposición, donde un plástico tarda en descomponerse 100 años, además tienen un reciclado limitado (en los mejores casos se puede llegar a reciclar de nuevo entre 5 ó 7 veces).

A pesar de ello, los plásticos hoy en día, podemos verlo como una solución a esos grandes retos a los que se presenta la sociedad actual; el cambio climático, la eficiencia energética y de recursos, o el rol del consumidor en una economía capitalista. Todo ello nos lleva a fomentar una economía circular [3] donde se intenta aprovechar al máximo los recursos, recuperarlos y regenerarlos hasta el final de su vida útil, alejándonos de la economía lineal. Esto hace que los plásticos ocupen un papel importante en este tipo de pensamiento, debido a las propiedades que presentan. Por lo que la circularidad del plástico asegura su recuperación para que estos no terminen en el vertedero o en el medio ambiente.

Cabe destacar las grandes plataformas que impulsan este tipo de medidas para llevar a cabo un reciclaje del plástico, como PlasticsEurope [4] o Ecoembes entre otras, a la que se le añade las normativas, medidas de concienciación y de gestión de este tipo de material adoptadas a nivel europeo tanto nacional, autonómico o municipal.

A nivel europeo, el Parlamento propone una norma base, la Directiva Marco 2008/98/ CE, a la que se le une numerosas medidas para el reciclaje y limitar el uso de vertederos, como hacía una economía circular y de gestión de residuos. Destacando una serie de objetivos a nivel municipal donde se deberán reciclarse el 55% de los residuos en 2025 y el 65% en 2035. Además de establecer un máximo, del 10%, de basura que podrá acabar en vertederos y de medidas que fomenten la recogida selectiva de textiles y residuos peligrosos, como la prohibición de plásticos de un solo uso desde 2021.

A nivel nacional, debemos destacar que hay una amplia normativa según el tipo de residuo que se trate. Destacando la Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados. Cuyo objetivo es la regulación de su gestión, impulsando medidas que prevengan su generación y mitiguen los impactos en la salud humana y en el medio ambiente. Donde los plásticos estarían dentro de estos residuos. No obstante, la normativa relacionada con los plásticos es algo actual, destaca el Real Decreto 293/2018, de 18 de mayo, sobre la reducción del consumo de bolsas de plásticos que responde a la directiva europea 2015/720.

Señalar las medidas y proyectos de reciclaje y concienciación de carácter voluntario como "Plastics2030" [5] desde PlasticsEurope que cuenta con el apoyo de más de 260 proyectos en 35 países a manos del Global Plastics Alliance y World Plastics Council, y con la cooperación de la UNEP (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y del G7 y G20, países que cuyo peso político, económico y militar tiene relevancia a nivel global.

Por lo tanto estamos ante un tema actual y que nos afecta de forma directa. Se está intentando paliar la problemática. Prueba de ello, es que el reciclado en España ha experimentado un aumento en los últimos años. Ecoembes recoge en la gráfica adjuntada a continuación la evolución de la tasa de reciclado de residuos de envases ligeros de origen doméstico en España desde 1998 hasta 2018 en función del total producido. Se puede ver como al comienzo de estos últimos 10 años el plástico era de los residuos menos reciclados, pero a lo largo de los últimos años no solo ha aumentado la tasa total de reciclaje sino que el plástico se ha convertido en uno de los envases ligeros de origen doméstico más reciclados en España.

La tasa de reciclado de residuos de envases de plástico, latas, bricks y los envases de papel y cartón gestionados por Ecoembes en 2018 llegó a situarse en un 78,8%, lo que supone un incremento del 2,2% respecto el año anterior.

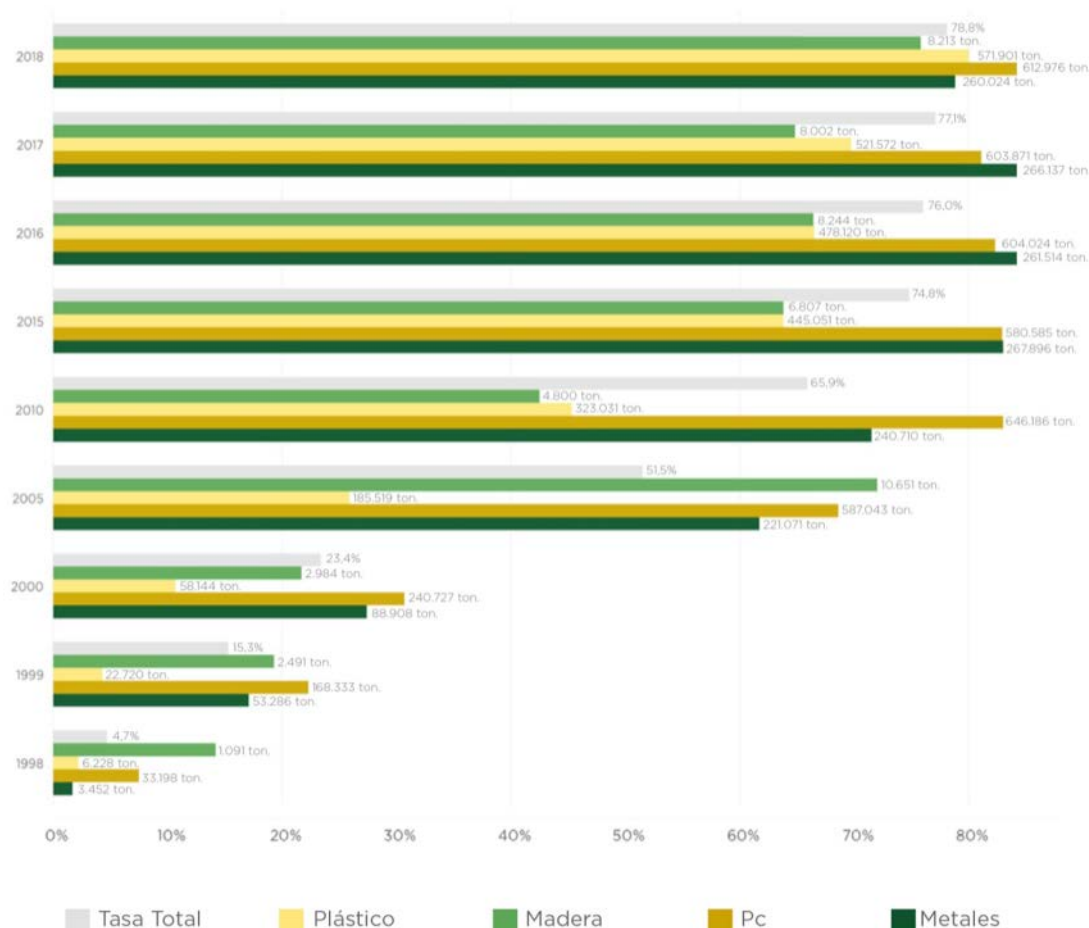


Fig. 01 Evolución de la tasa de reciclado en España.

Sin embargo, España se sitúa en el cuarto país de la Unión Europea con mayor demanda de plásticos. El 50% de estos residuos plásticos acabaron en vertederos o directamente en el medio ambiente, por lo que aún queda mucho por mejorar y aumentar estos datos de reciclado, ya que solo se recicla el 29,7% de los residuos generados. Además, a escala europea se da una demanda

del 51,2 millones de toneladas de plástico según el dato recogido en 2017, algo desorbitado, añadiendo además que la gran mayoría de estas toneladas de plásticos, eran termoplásticos. En 2017 se da una tendencia al alza con respecto al dato de 2016, donde se demandaba 49,9 millones de toneladas. Esto se recoge a continuación en una gráfica obtenida PlasticsEurope.

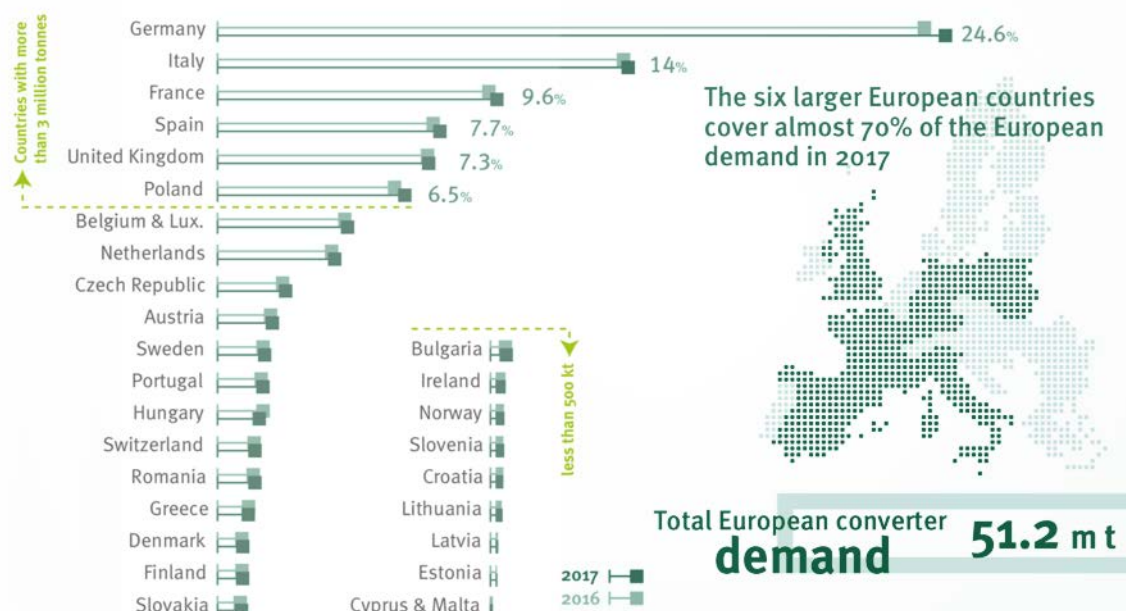


Fig. 02 Demanda de plásticos según el país. Fuente: PlasticsEurope.

Dentro de la familia los plásticos, como ya hemos comentado están los termoplásticos, donde nos encontramos una gran variedad, como el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno de baja densidad (LDPE), el polietileno de alta densidad (HDPE) o el tereftalato de polietileno (PET). Es el polipropileno uno de los plásticos más demandados, debido a que es un material transparente, ligero y resistente. Es utilizado para fabricar fibras textiles, contenedores, muebles, alfombras, cuerdas y envases de alimentos, entre otros productos.

El polipropileno se presenta como el plástico más demandado y por tanto el más producido, es un material que se encuentra en la categoría 5 [6], dentro de una escala que va de 1 a 7, dicha escala nos indica la facilidad para ser reciclado. Y es que del polipropileno se recupera una pequeña porción en comparación con otros tipos de plásticos dentro del uso doméstico.

Este tipo de plásticos son frecuentemente usados en la industria textil, automovilística o de restauración. Una vez reciclados se suelen utilizar como material de oficina, materiales para la jardinería, bolsas, productos de la industria automovilística, tapicería o mobiliario urbano. Esta reutilización no es suficiente por lo que muchos residuos de estos plásticos quedan abandonados en el medio terrestre o marino.

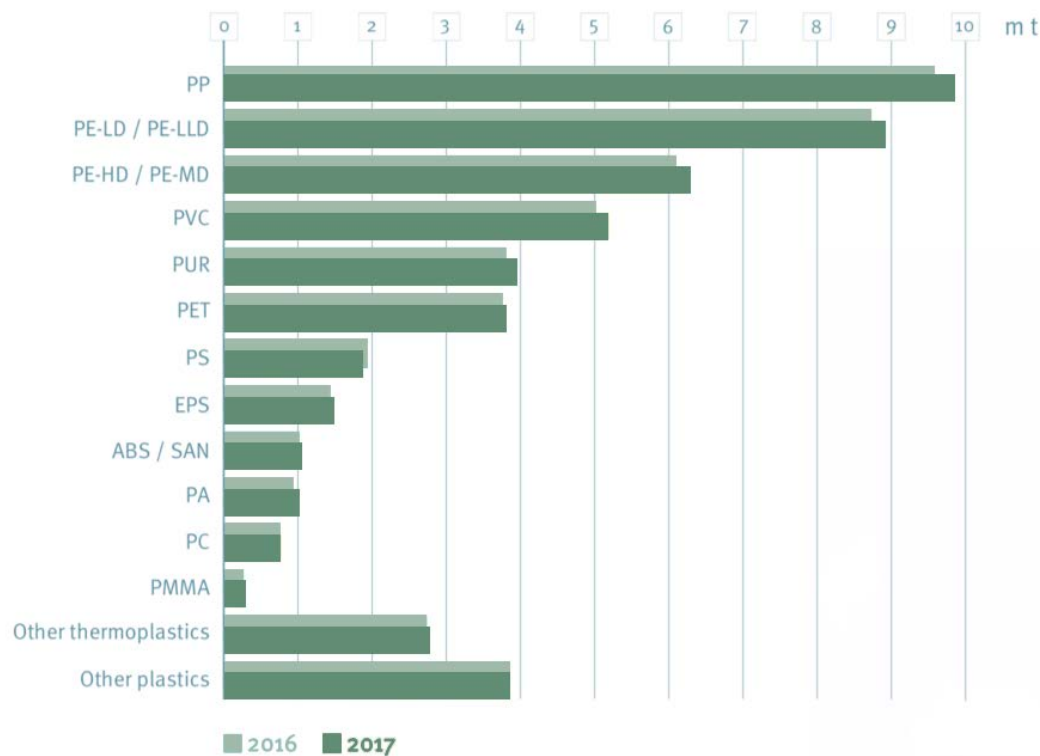


Fig. 03 Demanda según los tipos plásticos. Fuente: PlasticsEurope.

De modo que, si estos tipos de materiales quedan en desuso puede acarrear numerosas consecuencias para el medio ambiente, siendo exactos el 79% de los plásticos producidos y consumidos acaban ahí, siendo el medio marino uno de los grandes perjudicados. Donde se han llegado a encontrar plásticos a 10.000 metros de profundidad, siendo el 80% residuos provenientes del medio terrestre. Y es que cuando estos llegan al medio marino tardan entre décadas y cientos de años en degradarse, dependiendo del tipo de plástico y de las condiciones ambientales a las que se exponga. Es aquí donde destacan soluciones que intentan frenar esta situación, un ejemplo de ello lo tenemos en las plataformas creadas de la mano de PlasticsEurope [7], como Marine Litter Solutions ó Operation Clean Sweep que cuenta con el apoyo de grandes empresas multinacionales productoras de plásticos, que buscan aumentar la sensibilidad de la población, investigar, promover y mejorar las medidas para evitar que se estos residuos acaben en el fondo marino.

Existen también otras medidas innovadoras que buscan alternativas no tan convencionales y que abren otros campos destacando los proyectos I+D+i [8]. Estos proyectos reutilizan materiales plásticos para aplicarlos en nuevos ámbitos como en la construcción, envase y embalaje, automoción y transporte, medio ambiente y reciclado, eléctrico y electrónico, y aeronáutica.

Cabe señalar que el sector de la edificación y de la construcción es uno de los sectores que más plásticos consume, un 20% del total del consumo de plásticos en Europa, siendo la mayor aplicación del plástico después del envasado [9]. Este gran uso se debe a las características que presenta el plástico como la durabilidad, resistencia, aislamiento, rentabilidad y por su facilidad de montaje e instalación. Por lo que abre el campo de la reutilización y reciclaje de los plásticos, para una posterior aplicación del mismo.

Destacan investigaciones sobre el comportamiento de nuevos posibles materiales en la construcción con residuos plásticos como el realizado por Mercedes del Río Merino, [10] donde se elabora un nuevo tipo de yeso ligero sustituyendo la perlita y la vermiculita, por mezclas de residuos de poliestireno extruido y expandido. Podemos señalar también la investigación realizada por Youcef Ghernouti, [11] donde se presenta un nuevo material compuesto por hormigón y residuos de bolsas de plásticos, donde la incorporación de estas fibras le supone un gran aumento de la resistencia a tracción. Finalmente, otra investigación llevada a cabo por M.A. Pedreño-Rojas [12] donde a partir de residuos de policarbonato, como CDs o DVDs, se analiza la influencia de este en un compuesto con yeso, y la comprobación de las propiedades de resistencia, densidad y porosidad, donde se obtuvo una reducción del peso. Además, de llegar a unos valores admisibles de las propiedades mecánicas que hacen posible el uso de este nuevo producto y su posterior aplicación en la construcción.

En definitiva, los plásticos llegaron con firmeza a nuestro día a día, siendo algo tan necesario que no somos capaces de imaginarnos sin él. A pesar de sus grandes ventajas este material presenta una serie de inconvenientes, que nos pone en antecedente sobre sus limitaciones. Esto implica la concienciación ciudadana para llegar a utilizar al máximo la vida útil de los plásticos, y no deshacernos de ellos tan fácilmente por el daño que le supone al medio ambiente. Se abre, por tanto, un campo de investigación relacionado con la reutilización de los plásticos más producidos y que presentan mayor dificultad para ser reciclados, como el polipropileno, y de esta forma poder aplicarlo en un sector como es el de la construcción, uno de los mayores consumidores de plásticos en la actualidad.



Toallitas húmedas en las orillas del támesis, Fuente: BBC news.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El polipropileno es uno de los plásticos más demandados en la actualidad, según afirma la consultora industrial Applied Market Information Ltd (AMI Consulting), en los últimos cinco años se ha visto un crecimiento del 10% en este tipo de termoplástico en Europa. A lo que se le suma unas previsiones de alza, como un incremento de importaciones.

Uno de los mayores demandantes de este tipo de plásticos son las industrias de textiles y fibras. Donde destacan ciertos productos diseñados para la vida cotidiana de la población, entre los que se encuentran las toallitas higiénicas.

Este producto, que surgió recientemente, en los años 80, se compone por lociones (perfumes, ácido cítrico, aceite de ricino, citrato de sodio, caprilato de sorbitán, benzoato de sodio, goma de xantano, pentadecalactona, dipropilenglicol y triglicéridos), agua, celulosa y polipropileno. Siendo el polipropileno su componente más característico, pero a la misma vez el más problemático. Sabemos que este tipo de termoplástico, se caracteriza por ser un material transparente, ligero y resistente, ideal para las toallitas. Y es por eso, a su gran resistencia como tejido, que hace que no sean biodegradables y se generen problemas en el medio ambiente.

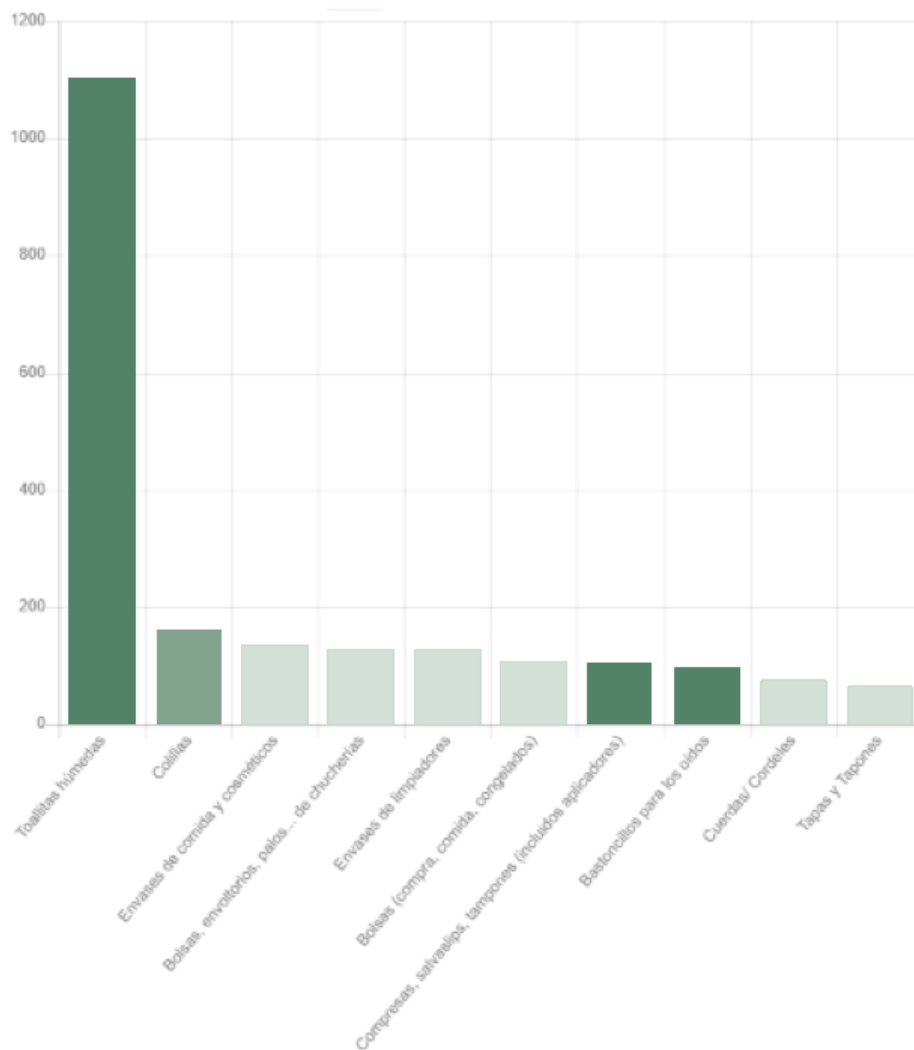
Y es que toda esta problemática surge de la dificultad para desintegrarse el residuo en el agua, mientras que el papel higiénico se desintegra en el agua casi por completo (95%) en media hora, las toallitas húmedas un 36% durante los dos primeros días, según establece la Organización de Consumidores y Usuarios. Las toallitas húmedas causan problemas de gestión de aguas y residuos, generando un gasto económico de limpieza, entre 4 y 6 euros por persona y año. Algo que "en ciudades con millones de habitantes la cifra se dispara", según Fernando Morcillo, el presidente de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS) [13]. Gran parte de la responsabilidad de la dificultad para que las toallitas húmedas sean desintegradas recae sobre los fabricantes, ya que se debería de utilizar celulosa pura, pero muchas empresas abaratan su producción a costa del material, llegando a utilizar plásticos de tercera categoría.

Esta difícil desintegración de las toallitas en el agua genera atascos en las redes generales de saneamientos en las ciudades. Llegándose a producir bolas de toallitas húmedas de casi un kilómetro de largo, en un colector en Valencia como informa el periódico 20minutos [14], el 27 de septiembre de 2017. Las estaciones depuradoras se han visto afectadas como consecuencia de los atascos en la red de saneamiento como es el caso de San Sebastián, en septiembre de 2017 [15]. En algunas ciudades se ha cuantificado la cantidad de toallitas que han sido desechadas a la red de saneamiento. Por ejemplo, se calcula que en el País Vasco se tiran todos los años por el inodoro más de 2.400 toneladas de toallitas, cifra que crece exponencialmente cada año [16]. A la que se le suma Sevilla, donde se recogen más de 30 toneladas de toallitas al mes [17]. Esto supone, además de los graves atascos, la acumulación de estas en el fondo marino. Un ejemplo de ello, lo tenemos en Nerja, donde se han registrado 9 toneladas de toallitas en el fondo marino y un manto de toallitas procedentes de un vertido de aguas residuales sin depurar en el paraje natural de Maro-Cerro Gordo (Nerja) [18].

Los actuales problemas urbanos que se han sido generados por este tipo de producto, tienen una relación directa con el medioambiente. Como hemos comentado anteriormente es su componente plástica lo que le hace que se degrade con dificultad. Por lo que aparece la posibilidad de su reutilización a través de su reciclado, para posteriormente aplicarlo a unos de los ámbitos que consume mayor cantidad de plásticos, el de la construcción. Por lo que, nuestra investigación se dirige hacia el diseño de un nuevo material ecoeficiente de construcción con el aprovechamiento de las toallitas húmedas. Con esto conseguimos ampliar el ciclo de vida de este residuo tras los numerosos problemas urbanos que generan.

En la actualidad, varias son las asociaciones y organizaciones que se encargan de la recogida de residuos en el medio ambiente, donde se puede denotar la presencia de toallitas húmedas de forma significativa. A continuación, adjuntamos una serie de gráficas donde se representa la cantidad de residuos recogidos:

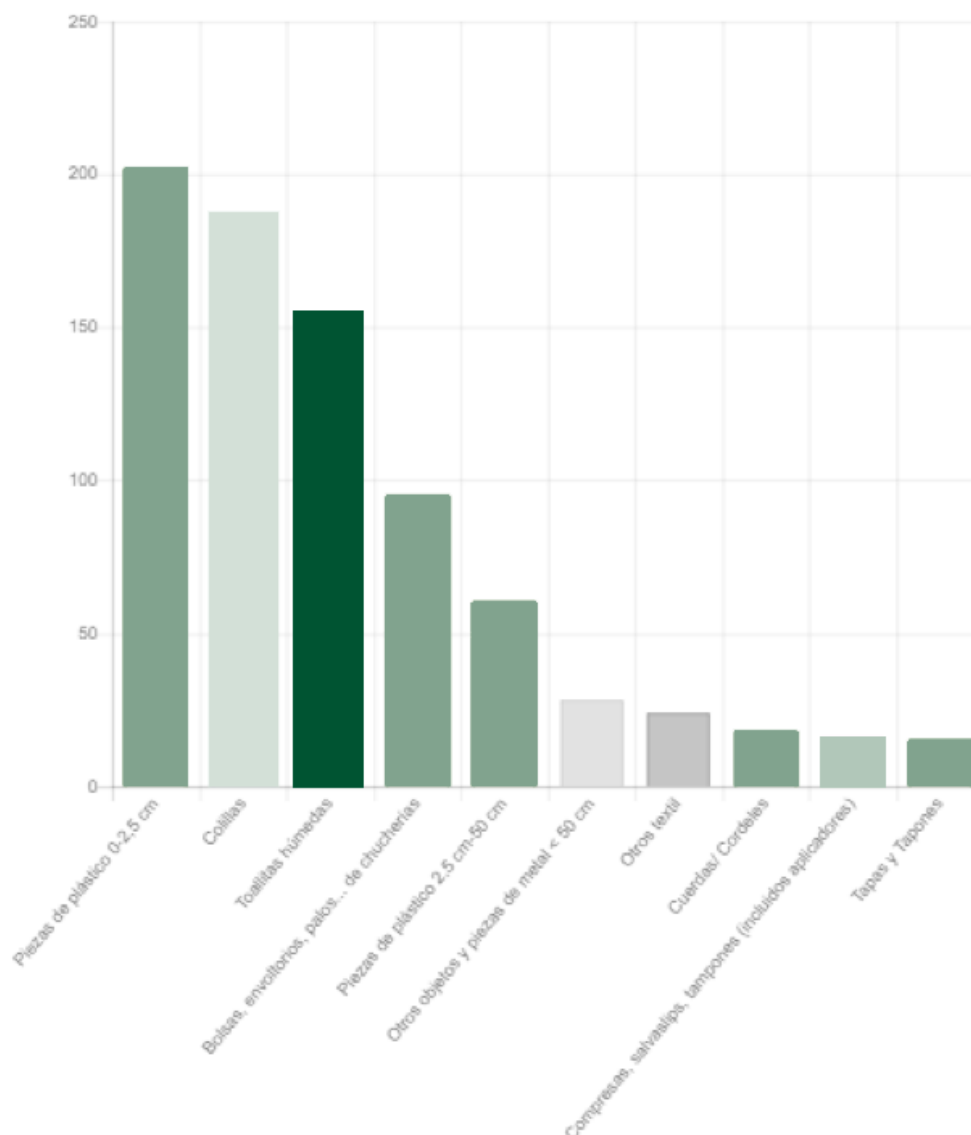
Fig. 04 Recogida de residuos en la playa Lagre I (Santander). Fuente: Marnoba.



En la gráfica adjuntada anteriormente observamos la recogida llevada a cabo por la organización Surf and Clean, el 2 de Marzo de 2017, aparece representado en el eje X el número de elementos recogidos y en el eje Y el tipo de residuo. Las toallitas húmedas son el residuo que más se encuentra en la playa de Lagre I en Santander en dicha recogida, se trata del 54% del residuo total recogido.

La siguiente gráfica representa la recogida de residuos llevada a cabo por la organización local SEO-Virot Libera, el 7 de Octubre de 2018. Observamos como las toallitas húmedas se encuentran entre los residuos más recogidos, con un 16'3%.

Fig. 05 Recogida de residuos en la playa Ciudad Jardín (Palma de Mallorca). Fuente: Marnoba.



Los principales componentes de nuestro residuo son el polipropileno y la celulosa, ambos han sido objeto de investigación como materiales dentro de la construcción, por lo tanto estas investigaciones nos pondrán en antecedente sobre el comportamiento y la posible aplicación de nuestro residuo.

Es de interés el estudio realizado por Hoang Nguyen, sobre un nuevo compuesto de yeso reciclado, que se ha reforzado con fibras de polipropileno, donde se obtiene que a mayor porcentaje de fibras de polipropileno mejores son las propiedades mecánicas del compuesto, creando así un nuevo tipo de yeso reforzado [19].

Destacamos también la investigación que lleva a cabo Alicia Oliver Ramírez, [20] donde se ha incorporado fibras de polipropileno en placas de yeso. Realizan ensayos donde se han comprobado las propiedades físicas (densidad, porosidad, higroscopicidad, resistencia al fuego y durabilidad) y propiedades mecánicas (dureza, resistencia y flexibilidad) donde se observa como el material experimenta una mejora de las propiedades físicas y mecánicas del compuesto. A su vez se observa, como su densidad se reduce con respecto al material de referencia además de un aumento de la dureza superficial del material. Aunque las prestaciones mecánicas a flexotracción son menores, siguen siendo admisibles por normativa.

Existen otros artículos científicos donde se intenta ya reusar residuos plásticos de polipropileno mixto como material agregado en morteros para la posterior elaboración de bovedillas en forjados con vigas de madera. Este artículo realizado por Paloma Rubio de Hita [21], se describe el procedimiento de fabricación de dichas bovedillas, tras ensayos de sustitución de mortero de cemento por polipropileno entre el 5% y el 10%, obteniendo una reducción de peso. Se observa como en los compuestos con más residuos plásticos añadidos hay una caída de sus propiedades mecánicas, además se obtiene una solución constructiva ecoeficiente para posibles rehabilitaciones.

Hay que añadir, otra investigación realizada por L. Alameda [22] donde se hace una caracterización de placas de yeso con residuos de espuma de poliuretano reforzado con fibras de polipropileno. En esta, se obtiene una reducción del peso, de las propiedades mecánicas y de su dureza superficial. En cambio, se experimenta un aumento de la resistencia térmica, mecánica y de absorción, como de adherencia.

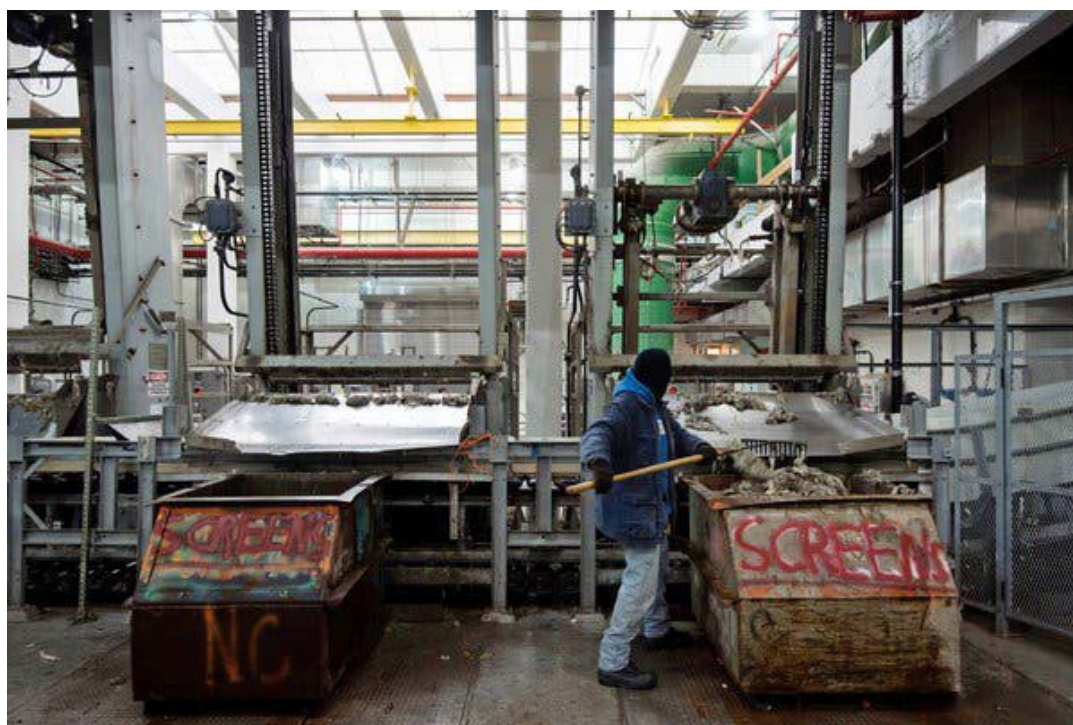
Por último, destaca la investigación realizada por A. García Santos [23] que investiga los efectos que implica reforzar escayola con fibras de polipropileno y perlas de poliestireno expandido. Donde se verifica una reducción de densidad y por tanto de peso.

Existen otras investigaciones realizadas sobre la celulosa, que se trata del otro componente fundamental en las toallitas húmedas. Destacando la investigación realizada por Mohamed Bentchikou [24] donde se hace un estudio del efecto que tiene la celulosa como material de reemplazo del cemento. Tras comprobar la resistencia a compresión, tensiones, densidad y conductividad térmica se verifica que se produce una reducción de la resistencia a compresión a un mayor porcentaje de aditivo. En cambio, las propiedades térmicas aumentan a la vez que se eleva el porcentaje de celulosa.

No obstante, se han realizado investigaciones sobre la influencia de la celulosa en la estructura de agua-yeso. Donde finalmente, tras un análisis realizado por Anna Czaderna [25] de cómo afecta la celulosa en el proceso de fraguado del yeso, se ha comprobado que este lo retarda ya que se quedan atrapadas moléculas de agua en la estructura de la celulosa.

Observamos la existencia de una relación entre las investigaciones realizadas sobre el polipropileno y la celulosa, ya que se produce una reducción de la densidad y por tanto de peso en el compuesto al añadir uno de estos dos materiales. Extrapolando esto a nuestro producto estaremos produciendo un material más ligero y ecoeficiente. No obstante, habría que seguir investigando su ecoeficiencia como material, tras analizar sus propiedades mecánicas y acústicas, ya que en las investigaciones realizadas se produce variaciones de estas propiedades.

Contamos con un amplio campo de investigación para la creación de un nuevo posible material constructivo a partir de residuos de las toallitas húmedas, y componente de un compuesto formado además por yeso. Es así, que analizaremos en nuestro trabajo de investigación las características mecánicas y acústicas de nuestro compuesto, teniendo en cuenta el marco normativo correspondiente.



Trabajos de limpieza en una planta de Brooklyn,
Fuente: The New York Times, Karsen Moran

3. OBJETIVOS

La problemática planteada nos lleva a unos objetivos globales ligados a una visión más general que a su vez dará lugar a una serie de objetivos específicos propios de los nuevos materiales objetos de la experimentación:

OBJETIVOS GLOBALES

- Usar **nuevos materiales en la construcción** obtenidos a través del **reciclaje** de los **plásticos**, pudiendo mejorar la eficiencia del edificio desde el punto de vista de la ecología, **ecoeficiencia**.
- Ampliar el **ciclo de vida** de algunos de los materiales plásticos que presentan dificultad para volver a ser reutilizados.
- Crear un **proceso experimental** para obtener la caracterización de un **nuevo material**.
- Analizar las propiedades del nuevo material elaborado a través de **su aplicación** en un caso práctico.
- **Mejorar** las **propiedades** del yeso tradicional como componente de la envolvente desde el punto de vista acústico y térmico, a través de la elaboración de un nuevo tipo de yeso realizado con materiales plásticos reciclados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar sobre las **propiedades de las toallitas húmedas** para la creación de un nuevo tipo de yeso que mejore las características del yeso tradicional.
- Investigar sobre la **disposición del residuo** en relación con el yeso.
- **Reducir** los **problemas** que generan las **toallitas húmedas** en la red de **saneamiento**, por la acumulación de las mismas.
- **Analizar** el **comportamiento mecánico, térmico y acústico** del nuevo compuesto formado por yeso y el residuo plástico (polipropileno + celulosa).
- **Caracterización** del nuevo compuesto tras las conclusiones obtenidas en el proceso experimental.
- Investigar las **posibles aplicaciones del nuevo material** desde el punto de vista constructivo.



350 kilos de toallitas en un colector de San Javier, Murcia
Fuente: eldiario.es, Raúl Rejón.

4. HIPÓTESIS DE PARTIDA

Los materiales principales de los que está formado nuestro residuo (polipropileno y celulosa), han sido objeto de estudios en determinados artículos y publicaciones. La investigación al respecto nos pone en antecedente sobre el comportamiento de nuestro residuo ante determinadas circunstancias.

La relación del residuo con el agua es una de las cuestiones principales para la realización del compuesto. Nuestro residuo se trata de un material absorbente que contiene agua y esto puede llegar a influir en el tiempo de fraguado del yeso, retrasándolo un breve periodo de tiempo por la cantidad de agua que este puede llegar a contener.

El principal componente de nuestro residuo es el polipropileno, se trata de un termoplástico con una densidad muy baja. Investigando sobre cómo se comporta el polipropileno mezclándolo con otros materiales, suponemos que nuestro residuo podrá llegar a aligerar el compuesto.

Un material favorece la absorción acústica cuando en él se genera una corriente de aire que disipa la onda sonora, nuestro residuo al tratarse de un material que presenta una determinada porosidad y rugosidad puede producirse un aumento del valor de absorción acústica. Este parámetro no ha sido objeto de estudio en las investigaciones realizadas sobre los diferentes compuestos que pueden llegar a tener una cierta similitud a nuestro caso particular de estudio.

Nuestro residuo se puede llegar a considerar como una fibra dentro del compuesto. Tras consultar una investigación sobre cómo pueden comportarse las fibras de polipropileno, desde el punto de vista mecánico, se llega a mejorar la rotura del elemento pasando de una rotura frágil a una rotura plástica o dúctil, lo que supone una buena adherencia en nuestro caso entre el residuo y el yeso. Realizando una investigación sobre cómo se comportan determinados termoplásticos ante los ensayos de tracción, compresión y flexión en relación con el compuesto, estos no mejoran notablemente las propiedades mecánicas. En nuestro caso de estudio, aunque la adherencia de las fibras con el yeso puede llegar a mejorar las capacidades físico-mecánicas, el contenido de agua del residuo puede llegar a disminuir las capacidades mecánicas sobre todo disminuyendo la resistencia a compresión.



Operarios trabajando en el colector donde se había formado un tapón de toallitas
Fuente: El País, Ignacio Zafra.

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El estudio de un nuevo material constructivo lleva consigo un proceso experimental de ensayos que ayudan a la caracterización de dicho material, proceso que queda recogido y regulado por normativa UNE-EN. En este caso, los datos que se obtienen de la composición yeso-toallita húmeda son físicos, mecánicos y acústicos.

La obtención de datos mediante la experimentación y posteriormente caracterización del nuevo compuesto, tiene como fin determinar su comportamiento a lo largo de su vida útil, lo que ayudará a definir posibles usos de éste, así como abrir un nuevo campo de investigación en el que el yeso-toallita pueda mejorarse y adaptarse a más ámbitos.

El procedimiento llevado a cabo en la investigación será:

1. Análisis bibliográfico y estudio de información actual, con el objetivo de realizar una experimentación contextualizada y justificada.
2. Realización de probetas y ensayos en laboratorio.
3. Recopilación y estudio de datos obtenidos .
4. Aplicación del producto a un caso real.
5. Análisis, comparación y conclusión tras la aplicación.

En primer lugar, como ya se ha comentado, se ha realizado una búsqueda y análisis de la información existente acerca del tema a tratar. Esta exploración se hace desde lo más global, estudiando los grandes problemas de los residuos contaminantes, centrándonos sobre todo en los plásticos, hasta lo más particular, los materiales que componen las toallitas higiénica y su composición nociva para el medioambiente. De cara a la fase de experimentación y buscando referencias de investigaciones realizadas en el mismo campo constructivo, se indaga en estudios ya realizados con nuestro conglomerante, el yeso, así como los existentes con los materiales que componen el elemento propuesto.

Paralelamente a la fase anterior se lleva a cabo la fase de experimentación, en la que, mediante la realización de una serie de probetas, se busca obtener datos acerca del nuevo material. Estas probetas son sometidas a ensayos mecánicos (probetas tipo A) y a ensayos acústicos (probetas tipo B), siempre teniendo de referencia las probetas tipo del material primitivo, probetas de yeso y agua únicamente.

Tras la obtención de datos de las distintas probetas con sus distintas composiciones, se realiza una comparación de datos básicos, entre ellas y comparándolas con la mezcla base de yeso y agua, analizando los puntos fuertes y débiles del nuevo material de cara a diseñar un producto constructivo con él.

Una vez caracterizado el nuevo compuesto, individualmente cada alumno genera un producto vinculado a la construcción, teniendo en cuenta en qué campos se comportará mejor.

Finalmente, se estudia el comportamiento del material en la edificación, obteniendo unos resultados que serán comparados con un producto o material que frecuentemente se utilice para cumplir los mismos requisitos constructivos. Por ejemplo, en el caso del compuesto yeso-toallita higiénica cabría crear un trasdosado y compararlo con uno convencional. Ésto ayuda a obtener una conclusión de todo el proceso y de la eficacia del material propuesto, así como su impacto en el sector de la edificación y su contribución a la mejora del medioambiente.



Toallita húmeda encontrada en la red de saneamiento de Londres.
Fuente: The Atlantic, Jack Taylor.

6. PLAN EXPERIMENTAL

6.1. INTRODUCCIÓN METODOLÓGICA, NORMATIVA DE REFERENCIA.

La investigación sobre la situación problemática actual de los residuos inorgánicos y el aditivo planteado para el estudio como parte de ellos, las toallitas higiénicas, nos lleva a la indagación de los compuestos que forman dicho elemento. Una vez conocidos y caracterizados los elementos que componen el material realizamos hipótesis de cómo funcionaría mejor, hipótesis confirmadas o descartadas gracias a esta fase de experimentación.

La experimentación con el compuesto busca poder caracterizarlo. Este nuevo compuesto estará formado, como se ha comentado en varias ocasiones, de yeso, agua y toallitas húmedas. Se plantea una dosificación de yeso y toallita variable buscando un mayor conocimiento del material frente a ensayos mecánicos y acústicos.

El primer ensayo al que se someten las probetas es de densidad aparente, para el cual se utilizan las probetas tipo A, ensayo regido por la norma UNE EN-102402:2014. *Yesos y escayolas de construcción. Otros métodos de ensayo* [26].

El segundo ensayo tiene como fin conocer las características mecánicas del material mediante ensayos a resistencia. Se ensayan las probetas tipo A tanto a flexión como a compresión, y los datos obtenidos son comparados con la probeta de referencia (yeso y agua). La norma reguladora del ensayo es la UNE EN-13279-2:2014. *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo* [27].

Por último, las probetas cilíndricas tipo B se someten a ensayos de absorción acústica en el Laboratorio de Física. Los ensayos consisten en aplicar el método del Tubo de Kundt, del cual se obtiene el coeficiente de absorción acústico de nuestro material. El ensayo queda regulado por la normativa UNE-EN ISO 10534-1:2002. *Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria* [28].

6.2. ELABORACIÓN DE PROBETAS

Ya que las probetas están sometidas a dos tipos de ensayos, se realizan dos modelos de probetas, las de tipo A (para ensayos mecánicos) y las de tipo B (para ensayos acústicos).

Teniendo como hipótesis que las toallitas húmedas pueden adoptar un carácter parecido a una fibra mecánicamente y a una superficie de absorción sonora acústicamente, decimos realizar probetas tipo A en las que la disposición de las toallitas sea distinta, a capas (TC) y en tiras (YTT).

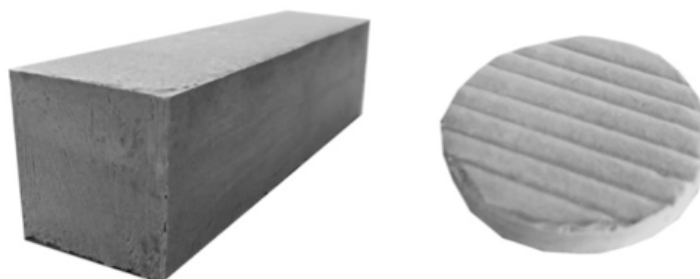


Fig. 06 Probetas prismáticas tipo A y probetas cilíndricas tipo B.

Las mezclas para las probetas han sido realizadas en el laboratorio de Construcciones Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, en el que se da unas condiciones ambientales no controladas de 20 a 25 °C. En él, los materiales utilizados para el peso de los distintos elementos que componen el compuesto y la mezcla de éste son:



Fig. 07 Materiales utilizados para la elaboración de las probetas.

Ya que el residuo que vamos a utilizar como aditivo es un producto antihigiénico y con restos orgánicos, en primer lugar, se simula un posible lavado de la toallita manteniendo ésta en agua durante 24 h, sacándolas después de esto y dejándolas húmedas para la mezcla.

De cara a realizar la mezcla de toallita higiénica, yeso y agua, se estudia detenidamente una de las principales características de este producto, la absorción. Tras realizar unas pruebas comprobando cuánta agua absorbe una toallita húmeda y una toallita seca, la primera no absorbe una cantidad suficiente como para modificar el porcentaje de agua relativo a la cantidad de yeso en la mezcla (0,55 x peso de yeso).

Una vez conocidas las características del material que vamos a utilizar como aditivo y sus posibles aportaciones, se prepara el material para ser posteriormente mezclado. Las probetas tipo A, como ya se ha comentado, se realizan con el aditivo en capas, de tamaño 40 x 160 mm (del mismo de las probetas utilizadas) y en tiras, con un largo oscilante entre 17 y 19 cm y ancho de 1 a 2,5 cm, material que será distribuido por probetas según porcentaje de aditivo. Las probetas de tipo B tendrán una o dos capas en la superficie de la probeta, con una dimensión igual a ésta, una circunferencia de 9,8 cm de diámetro.

Con el aditivo preparado, solo en el caso de las probetas tipo A con tiras, se mezcla con el conglomerante, yeso en nuestro caso. En el caso de las probetas tipo A con capas y tipo B, las toallitas se añaden de forma separada a la mezcla primitiva (yeso y agua) manualmente. El yeso utilizado es del tipo B1/50/2 propuesto por el laboratorio.

Para realizar la mezcla únicamente falta el agua, cuya cantidad viene determinada en función del peso de yeso, siendo un 55% de éste ($0,55 \times g$ de yeso). Aunque esta sería la relación de agua-yeso adecuada, en nuestro caso utilizamos una relación del 50 % ya que comprobamos que la mezcla tiene exceso de agua.

En el caso de probetas tipo A en tiras, una vez obtenidas las cantidades necesarias de cada material, primero se aplica un desencofrante al molde de la probeta, después se añade poco a poco el agua a la mezcla yeso-toallita y se remueve hasta que quede lo más homogénea posible, teniendo en cuenta el rápido tiempo de fraguado del yeso. Para las probetas tipo A con capas y tipo B, se realiza una mezcla base de yeso y agua y se añaden las capas progresivamente, estableciendo una relación entre capa de yeso y capa de toallita, siempre poniendo una toallita como capa de terminación en uno de los lados.



Fig. 08 Fases para la realización de probetas. Caracterización - Mezcla % - Vertido - Fraguado

Tras la realización de las probetas, vemos que es difícil realizar una mezcla que quede repartida homogéneamente en el caso de las probetas con tiras, quedándose reflejado en los datos obtenidos, siendo estos muy irregulares.

En el caso de las probetas realizadas con aditivo tipo capa, la dimensión de las toallitas higiénicas, del mismo tamaño que la probeta y en ocasiones un poco mayores, así como los porcentajes tan elevados de este material, han provocado una estratificación en las muestras (fig.9), dando resultados inferiores a los permitidos por la norma. Es por esto que se han realizado de nuevo este tipo de probetas con un porcentaje menor (1%, 1 capa, 2%, 2 capas y 3%, 3 capas) y con unas dimensiones de capa reducidas, aproximadamente de 20x130 mm, buscando así que queden confinadas por el yeso. La distribución de dichas capas en las probetas se daba en todo su canto, sin embargo, en este caso las toallitas higiénicas se han situado siempre por debajo de la fibra neutra, haciendo así alusión a su comportamiento como fibra.



Fig. 09 Probeta A tipo Capa. Problema de estratificación

En esta segunda fase de laboratorio también pensamos que sería interesante probar el comportamiento de las toallitas higiénicas en forma de agregado, siendo una forma intermedia entre las tiras y capas anteriormente planteadas. En este caso únicamente se han realizado una serie de tres probetas, las mínimas exigidas por la norma, con un porcentaje de aditivo del 2,5 % y unas dimensiones de éste aproximadamente de 25x25 mm.

6.3. DIMENSIONES DE PROBETAS

Como ya hemos comentado, existen dos tipos de probetas, las de tipo A, para ensayos mecánicos, y las tipo B, para ensayos acústicos.

Las probetas tipo A quedan divididas en tres subgrupos, con aditivo en tiras (MYTT), con aditivo en capas (MTC) y con aditivo tipo agregado (MTA). Se realizan 9 probetas de cada tipo, siendo éstas a su vez divididas en grupos de tres, teniendo tres porcentajes distintos de aditivos, exceptuando las probetas tipo agregado de las cuales únicamente se ha realizado una serie de tres con un único porcentaje de 2,5%. Como se ha comentado con anterioridad, las probetas tipo MYTT contarán con tiras de 170 a 190 mm de largo y 10 a 25 mm de ancho, con unos porcentajes de 5%, 2% y 0,5 %, y las probetas tipo MTC se realizarán con capas de 20x130 mm con un porcentaje de aditivo de 3%, 2% y 1%.

De las probetas tipo B se realizan 5, dos de ellas con una capa superficial de toallita húmeda, de 9,8 cm de diámetro, otras dos con doble capa de toallita superficial y por último se realiza una probeta con una capa de toallita ondulada, buscando una textura que ayude a una mejor absorción acústica.

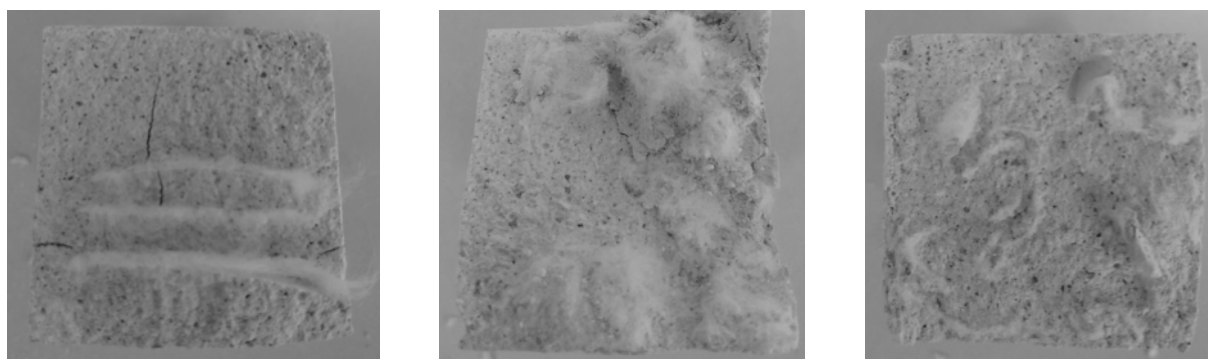


Fig. 10 Probetas tipo A. Aditivo como Capas, Tiras y Agregado

En primer lugar se realizan las probetas tipo A. Para ello se utiliza unos moldes metálicos proporcionados por el laboratorio, en ellos se pueden realizar las probetas de tres en tres. Las probetas cuentan con una forma prismática de dimensiones 40 x 40 x160 mm.

La mezcla se realiza manualmente teniendo en cuenta el porcentaje de aditivo, yeso y agua de cada una, porcentajes que quedan recogidos en la siguiente tabla:

	Probeta	Número Probeta	% de sustitución gramos de toallita por yeso	Toallita (g)
CAPAS	MTC-1	3	1%	0,75
	MTC-2	3	2%	1,5
	MTC-3	3	3%	2,25
TIRAS	MYTT-05	3	0,50%	1,5
	MYTT-2	3	2%	6
	MYTT-5	3	5%	15
AGREGADO	MTA-2.5	3	2,50%	7.5

Tabla. 01 Porcentajes y pesos de los materiales de las probetas tipo A.

6.4. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN

Siguiendo la metodología de trabajo, como se ha comentado en otros apartados, las probetas se someten a distintos ensayos, obteniendo datos que ayudan a caracterizar el material objeto de estudio, previendo su comportamiento de cara a la realización de un producto para la edificación.

Las probetas tipo A son sometidas a ensayos de densidad aparente y ensayos de resistencia mecánica, a compresión y a flexión. A las probetas tipo B únicamente se le realizan ensayos de absorción acústica. Todos estos ensayos se hacen de acuerdo a lo establecido por las normas UNE para cada caso.

Estos ensayos, según Norma UNE EN-13279-1:2009. *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones* [29] se podrán realizar una vez haya pasado 9 días en atmósfera de laboratorio, temperatura 23 ± 2 °C y humedad relativa de 50 ± 5 %. Con este tiempo nos aseguramos que han adquirido su aspecto y trabajabilidad necesaria.

6.4.1.- ENSAYOS DENSIDAD APARENTE

Una vez desencofradas y secadas las probetas, el primer ensayo al que se someten es al de densidad. Según la norma que lo rige, la UNE 102042:201 la densidad es "el cociente entre la masa de la materia seca de un cuerpo poroso y su volumen aparente, expresado en gramos por centímetro cúbico; entendiéndolo el volumen aparente como la suma de los volúmenes de la materia sólida, los poros abiertos y los poros cerrados dentro de un cuerpo poroso".

Metodología

Para conocer los datos de densidad, las probetas prismáticas son pesadas con una balanza de precisión para tener referencias lo más exactas posibles. Una vez obtenido el peso de cada probeta con su porcentaje de aditivo correspondiente, así como midiendo las dimensiones de dichas probetas para obtener el volumen, podemos conocer su densidad. El análisis de datos es en gran medida la comparación de estas probetas con la probeta de 0 % de aditivo, es decir, la probeta producto de la mezcla de yeso y agua únicamente. El peso es obtenido en gramos, el volumen en cm^3 y la densidad en $\text{gramos}/\text{cm}^3$.

6.4.2.- ENSAYOS MECÁNICOS

Los ensayos mecánicos se realizan a las probetas prismáticas tipo A. Se hacen ensayos tanto a flexión como a compresión, lo que ayuda a tener datos de cómo puede actuar mejor el material frente a unos esfuerzos u otros. En estos ensayos la homogeneidad del aditivo en la probeta es fundamental para obtener resultados fiables pues, como se comenta en las hipótesis de partida, una de las características que pensamos puede mejorar la matriz primaria (yeso y agua) es la resistencia que puede darle el residuo propuesto, asemejando su comportamiento al de una fibra.

Los ensayos se realizan tanto en las probetas con residuo por capas como con residuo por tiras, así como en las probetas tipo agregado, con sus distintos porcentajes de aditivo, realizando los ensayos también a las probetas sin aditivo para tener unos datos iniciales de referencia de cara al posterior análisis.

Para la realización de ambos ensayos es de obligado cumplimiento al Norma UNE EN-13279-2:2014. [26] Dentro de la cual se encuentra la UNE EN-196:2005. "Métodos de ensayos de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas" [30] en la que se describe detenidamente el procedimiento a seguir para realizar ambos ensayos, de flexión y compresión.



Fig. 11 Prensa multiensayo

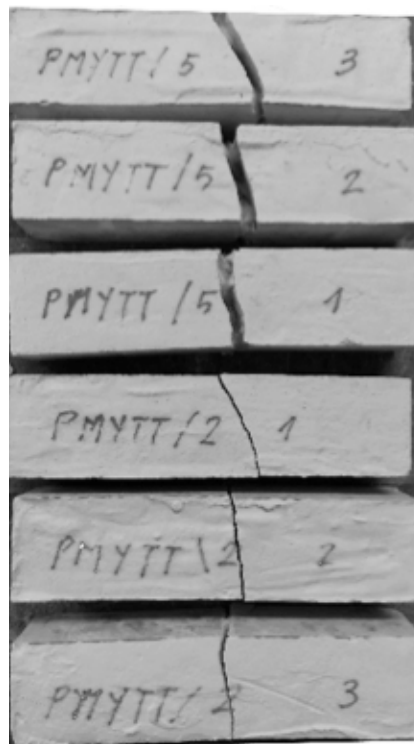


Fig. 12 Probetas tipo A

RESISTENCIA A FLEXIÓN:

Las probetas tipo A, con una prensa, son sometidas a una carga en tres puntos distintos hasta alcanzar un valor de rotura establecido por la norma UNE ya comentada. Aunque la normativa establece que los ensayos se deben realizar en las caras lisas que han estado en contacto con el molde, en este caso los ensayos se realizan en las otras dos caras, dado que las capas se han dispuesto de esta forma y para obtener mejores resultados la carga debe aplicarse perpendicularmente al plano de dichas capas.

Metodología

Para realizar el ensayo se ha utilizado una prensa multiensayo de 300 kN del Laboratorio de Construcciones Arquitectónicas de la ETSA. La prensa es de Codein S.L. modelo MCO-30. Esta herramienta trabaja con un software mediante el que se controla la fuerza que se debe ejercer sobre las probetas, así como nos proporciona los datos de rotura de éstas guardando éstos en su base de datos.

El ensayo es denominado como "Ensayo de tres puntos" y consiste en aplicar una carga máxima de 10 t/s a una velocidad de 0,5 Mpa/s, de forma que la rotura se produzca entre 30 y 90 segundos, cumpliendo con la norma UNE EN-196:1:2005 [30].

La prensa, con la distribución de sus rodillos de apoyo para la probeta y los de carga, busca evitar el esfuerzo de torsión y una distribución uniforme de la carga, aspectos que ayudarán a obtener datos más precisos. Los rodillos de apoyo se disponen a una distancia de 100 mm según norma UNE.

Antes de realizar el ensayo nos aseguramos de que las probetas están bien curadas gracias a los 9 días a atmósfera de laboratorio, según norma UNE, y un posterior secado en la estufa del laboratorio. Así como es necesario que la superficie en contacto con los rodillos de la prensa no tenga ninguna imperfección o tenga partículas que no proceden adheridas a ella.

Una vez realizado el ensayo, los datos obtenidos de carga de rotura (t/s) son introducidos en la fórmula $f = 1,5 \cdot (F \cdot l / b \cdot d^2)$ donde b y d son la altura y anchura de las probetas respectivamente y F·l la carga por longitud entre apoyos. Esta fórmula nos da la resistencia final de la probeta a flexión en N/mm².

RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Una vez realizados los ensayos de flexión, las probetas prismáticas quedan divididas en dos mitades (A y B), siendo sometidas ambas al ensayo de resistencia a compresión, con el fin de determinar el comportamiento de éstas frente a ese esfuerzo y con ello adquirir un mayor conocimiento de las características del compuesto.

Metodología

Para realizar los ensayos de resistencia a compresión utilizamos la misma prensa que para los ensayos de resistencia a flexión. La diferencia entre un ensayo y otro es la forma de aplicar la carga. Mientras en el ensayo a flexión se aplica una carga puntual, en el ensayo a compresión se aplica una carga superficial sobre la probeta con un rectángulo de 40 x 40 mm, ejerciendo presión sobre el centro de ésta.

Según norma UNE EN-196-1:2005, la prensa utilizada está conformada por dos platos de soporte de acero con una dureza Vickers mínima de 600 HV, determinada por la norma UNE-EN ISO 6507-1:2006 [31]. La rigidez de los platos, así como la forma de transferir la carga son tales que la de flexión cumple lo fijado por la norma. Uno de los platos debe ser basculante, favoreciendo su adaptación a la probeta, sin embargo, el otro deberá ser fijo para que no se den desviaciones mayores del 0,05 mm respecto a la superficie plana.

Las probetas, antes de ser sometidas al ensayo deben estar bien curadas, así como asegurarnos que la superficie que estará en contacto con las placas está limpia de partículas y no presenta impurezas que puedan afectar al contacto de éstas con las probetas. Esta vez, al contrario que en los ensayos a flexión, la probeta se coloca perpendicularmente a la cara de apoyo, aplicando así la carga.

Según norma UNE anteriormente comentada, se suministra a la probeta una carga máxima de 16t/s a una velocidad de 0,5 MPa/s, buscando que la rotura no se produzca en un tiempo inferior a 1 min.

Una vez obtenidos los datos de ensayos, la resistencia a compresión se calcula con la fórmula $f = C/b$, donde b es la dimensión de la placa base y C la carga obtenida de los resultados adquiridos.

6.4.3.- ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO ACÚSTICO.

Medición del coeficiente de absorción acústica

Las probetas tipo B son sometidas a ensayo acústicos con el fin de conocer cómo se comporta en este ámbito. Estas probetas son de tres tipos, probetas con dos capas de capa de terminación, probetas con una capa de toallita higiénica como acabado y una probeta con una capa de toallita ondulada.

Para la realización del ensayo no destructivo se sigue lo establecido por la norma UNE-EN ISO 10534-1:2002. *Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria.* [28]



Fig. 13 Instrumentos para ensayo acústico de "Tubo de Kundt"

Para que las muestras entren en el portamuestras indicado por norma, las probetas no pueden superar los 10 cm de diámetro ni los 4 cm de espesor. Tampoco deberán tener un espesor menor a 9,5 cm aproximadamente pues en ese caso habrá que rellenar el diámetro con otro material que puede alterar los resultados. En nuestro caso, las dimensiones de las muestras ensayadas son de 9,8 cm de diámetro y 2 cm de espesor.



Fig. 14 Probetas cilíndricas tipo B y portamuestras.

El procedimiento seguido para realizar el ensayo será el siguiente:

En primer se colocan las muestras una a una en el portamuestras, con el que se cerrará completamente el tubo. Después, el altavoz conectado al tubo se enciende con una potencia de 132 dBuV.

En segundo lugar, el aparato analizador conectado a los demás elementos, es el que permite elegir las frecuencias de octavas que serán utilizadas para el ensayo, para las cuales obtendremos su coeficiente de absorción acústica. Estas frecuencias son 250 Hz, como frecuencia baja, 500 Hz, 1000 Hz como frecuencias medias y 2000 Hz como frecuencia alta. Este instrumento es el que recoge la información emitida por el micrófono tras introducir en el tubo una onda estacionaria con las diferentes frecuencias.

Por último, los datos obtenidos, presiones máximas y mínimas en μV de las distintas ondas estacionarias, nos dan el coeficiente de absorción acústica del material para cada frecuencia, todo ello introduciendo los datos en las fórmulas:

$$P_{\text{máx}}/P_{\text{mín}} = n$$

$$\alpha_{\text{NOR}} = 1 - r^2 = 4xn/(n+1)^2$$



Masa de toallitas húmedas extraídas de la red de alcantarillado de Nueva York.
Fuente: metro.us, Kristin Toussaint.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS.

7.1 ENSAYOS DE DENSIDAD APARENTE.

7.1.1 RESULTADOS.

Tras la elaboración en laboratorio de las probetas de estudio, y tras haber pasado 9 días con el fin de asegurarnos su correcto fraguado, aspecto y trabajabilidad, obtuvimos una serie de datos relacionados con su peso, y con ello, su densidad.

Probeta		Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)
Referencia	REFERENCIA 1	315.4	256	1.23
	REFERENCIA 2	318.17	256	1.24
	REFERENCIA 3	321.76	256	1.26
	REFERENCIA 4	324.87	256	1.27
	REFERENCIA 5	325.4	256	1.27
	REFERENCIA 6	318.66	256	1.24
Capas	PMTC/1/1	327.07	256	1.28
	PMTC/1/2	324.47	256	1.27
	PMTC/1/3	324.59	256	1.27
	PMTC/2/1	326.02	256	1.27
	PMTC/2/2	327.63	256	1.28
	PMTC/2/3	324.42	256	1.27
	PMTC/3/1	323.75	256	1.26
	PMTC/3/2	319.24	256	1.25
	PMTC/3/3	324.03	256	1.27
Tiras	PMYTT/0.5/1	311.95	256	1.22
	PMYTT/0.5/2	319.30	256	1.25
	PMYTT/0.5/3	313.19	256	1.22
	PMYTT/2/1	309.68	256	1.21
	PMYTT/2/2	304.77	256	1.29
	PMYTT/2/3	310.15	256	1.21
	PMYTT/5/1	294.16	256	1.25
	PMYTT/5/2	292.08	256	1.14
	PMYTT/5/3	289.58	256	1.13
Agregado	PMTA/2.5/1	313.91	256	1.23
	PMTA/2.5/2	314.57	256	1.23
	PMTA/2.5/3	318.25	256	1.24

Tabla 02. Resultados ensayo densidad aparente.

7.1.1 ANÁLISIS RESULTADOS.

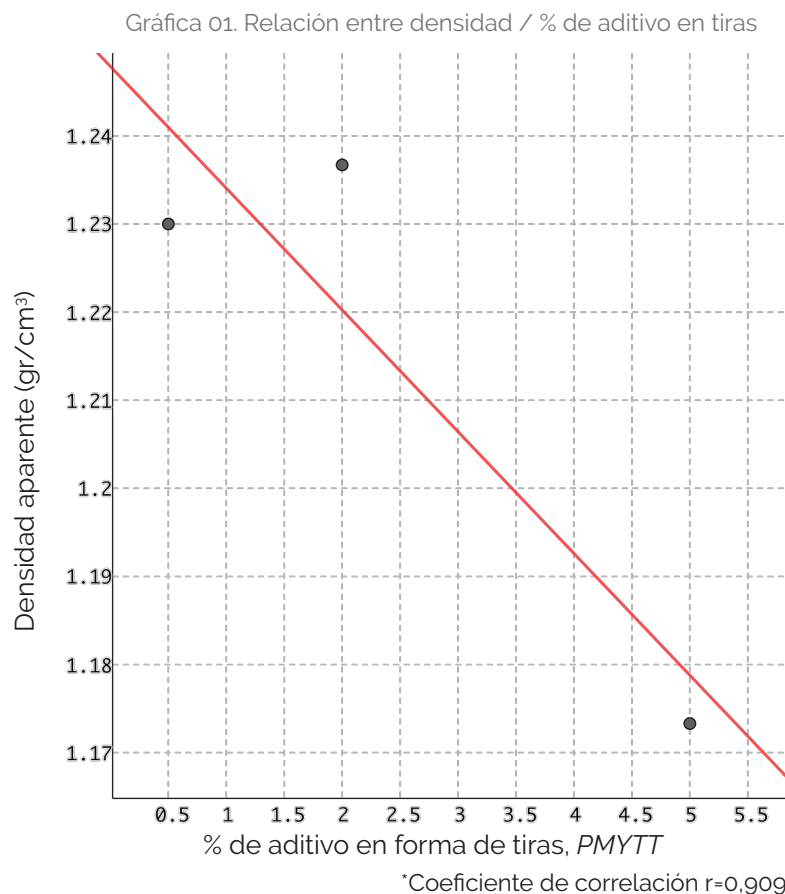
Una vez obtenidos estos datos, pasamos a compararlo entre ellos y obtener las primeras conclusiones. Para ello, se muestra una tabla resumen donde se pueden ver las diferentes densidades aparentes medias como los pesos. Señalar, que se ha tomado la decisión de establecer el mismo volumen de las probetas de referencia a las demás para agilizar el cálculo de las densidades aparentes.

DENSIDAD APARENTE Y PESOS				
Probetas		Densidad Aparente (gr/cm ³)		Pesos (g)
Referencia		Intervalo	1.23-1.27	315.4-325.4
		Media	1.25	320.71
Capas	PMTC/1	Intervalo	1.27-1.28	324.47-327.07
		Media	1.27	325.38
	PMTC/2	Intervalo	1.27-1.28	324.42-327.63
		Media	1.27	326.02
	PMTC/3	Intervalo	1.25-1.27	319.24-324.03
		Media	1.26	322.34
Tiras	PMYTT/0.5	Intervalo	1.22-1.25	311.95-319.30
		Media	1.23	314.81
	PMYTT/2	Intervalo	1.21-1.29	304.77-310.15
		Media	1.24	308.2
	PMYTT/5	Intervalo	1.13-1.14	289.58-294.16
		Media	1.17	291.94
Agregado	PMTA/2.5	Intervalo	1.23-1.24	313.91-318.25
		Media	1.23	315.58

Tabla 03. Valores medios de densidades aparente y pesos.

Vemos por tanto, como se produce un ligero aumento de la densidad aparente y peso con respecto a la de referencia, en el caso de las probetas realizadas por capas. Siendo las probetas compuestas por 3 capas (PMTC/3) las que presentan una densidad similar con las de referencia, y la de 1 y 2 capas (PMTC/1 y PMTC/2) una densidad mayor. Siendo estas diferencias despreciables, por lo que podría tratarse de algún tipo de fallo durante su fabricación. No obstante ante tal situación, y con un número escaso de probetas de ensayo en esta disposición de aditivo podemos pensar dos tipos de situaciones. Una en la que al disponer el residuo en forma de capa no supone un reemplazo de volumen de yeso considerable, por lo que no tiende a disminuir su densidad y su peso. Y otra donde, para experimentar una reducción de peso o de densidad con respecto a las de referencia habría que disponer mayor número de capas de aditivo, ya que a partir de 3 capas (PMTC/3) se experimenta una ligera disminución de peso y densidad con respecto a la de 1 capa (PMTC/1) y 2 capas (PMTC/2). Para confirmar dicha hipótesis, se deberá realizar más ensayos y con ello mayor número de fabricación de probetas.

En cambio con respecto a las demás probetas donde el residuo se dispone en forma de tiras o de agregado se experimenta una reducción de los valores de densidad y de peso. Por lo que esta disposición sería más favorable de cara a la reducción de peso del material de origen y de densidad por tanto. En el caso de las tiras, comprobamos que a mayor porcentaje de residuos, menor sería la densidad y peso de la probeta. Alcanzado la mayor diferencia con respecto a las de referencia (densidad de $1,25\text{kg}/\text{cm}^3$, $320,71\text{g}$) en las probetas de PMYTT/5 (densidad de $1,18\text{kg}/\text{cm}^3$, $291,94\text{g}$), entorno al 9%



Finalmente, en el caso de las probetas realizadas con residuos en forma de agregado, se experimenta ya una reducción del 1,6% de densidad y peso, con un 2,5% de residuo. Por lo que a mayor porcentaje de adicción del residuo este experimentaría una reducción progresiva de la densidad y peso, ya que se sustituiría mayor cantidad de yeso. No obstante, a falta de seguir investigando si dicha hipótesis es real, a través de la fabricación de nuevas muestras con distintos porcentajes de aditivo.

7.2 ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO MECÁNICO.

7.2.1 FLEXIÓN.

7.2.1.1 RESULTADOS.

Tras haber realizado el ensayo en las probetas tipo A con ayuda de una prensa multiensayo de 300kN, y transformar los datos obtenidos de carga de rotura (t/s) en la resistencia de la probeta a flexión (N/mm^2), según la norma UNE EN-196:1:2005, obtenemos los siguientes resultados:

Probeta		Peso (g)	Resistencia a flexión (N/mm^2)
Referencia	REFERENCIA 1*	315.4*	3.87*
	REFERENCIA 2	318.17	3.49
	REFERENCIA 3*	321.76*	3.40*
	REFERENCIA 4	324.87	3.73
	REFERENCIA 5	325.4	4.08
	REFERENCIA 6	318.66	3.14
Capas	PMTC/1/1	327.07	3.89
	PMTC/1/2	324.47	4.69
	PMTC/1/3	324.59	4.29
	PMTC/2/1	326.02	3.98
	PMTC/2/2	327.63	2.79
	PMTC/2/3	324.42	3.96
	PMTC/3/1	323.75	3.80
	PMTC/3/2	319.24	3.33
	PMTC/3/3	324.03	3.30
Tiras	PMYTT/0.5/1	311.95	3.12
	PMYTT/0.5/2	319.30	3.87
	PMYTT/0.5/3	313.19	3.47
	PMYTT/2/1	309.68	3.61
	PMYTT/2/2	304.77	2.67
	PMYTT/2/3	310.15	3.45
	PMYTT/5/1	294.16	3.12
	PMYTT/5/2	292.08	3.12
	PMYTT/5/3	289.58	3.52
Agregado	PMTA/2.5/1	313.91	4.20
	PMTA/2.5/2	314.57	4.10
	PMTA/2.5/3	318.25	3.89

Tabla 04. Resultados ensayo comportamiento mecánico, flexión.

Probeta	Media peso (gr)	Media resist. Flexión (N/mm^2)
REFERENCIA	321.76	3.61
PMTC/1	325.38	4.29
PMTC/2	326.02	3.58
PMTC/3	322.34	3.48
PMYTT/0.5	314.81	3.49
PMYTT/2	308.2	3.24
PMYTT/5	291.94	3.24
PMTA/2.5	315.58	4.06

Tabla 05. Media de los resultados de ensayo comportamiento a flexión.

*Para la obtención de las medias en las muestras de referencia se ha despreciado los datos obtenidos por parte de las probetas de Referencia 1 y Referencia 3, ya que distorsionaban el comportamiento de la muestra.

7.2.1.2 ANÁLISIS RESULTADOS.

Como podemos ver en la [tabla 05](#), donde se indican las medias de los valores de resistencia a flexión por cada tipo de probeta, la disposición y porcentaje de aditivo afecta a la hora de determinar su resistencia ante tal esfuerzo.

En el caso de las probetas dispuesta el aditivo en forma de capa (PMTC) se experimenta un aumento de la resistencia en el caso de PMTC/1, es decir, con una capa. Dicho aumento del valor de la resistencia a flexión se encuentra entorno al 18% con respecto a la de referencia, actuando por tanto, dicha capa como un fibra orientada por debajo de la fibra neutra que hace aumentar sus capacidades mecánicas a flexión. En cuanto a las probetas del tipo PMTC/2 y PMTC/3, se experimenta un ligero descenso de los valores de resistencia a flexión con respecto a la de referencia en torno al 1%, a un posible problema de estratificación. Dicha hipótesis se vería verificada o rechazada si se hiciera un mayor número de muestras, con un mayor número de capas de residuos progresivamente.

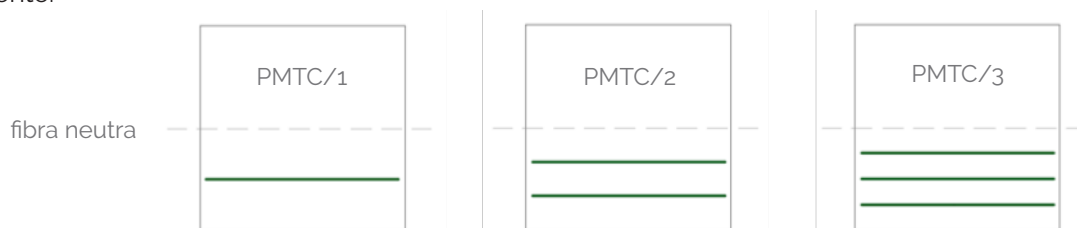


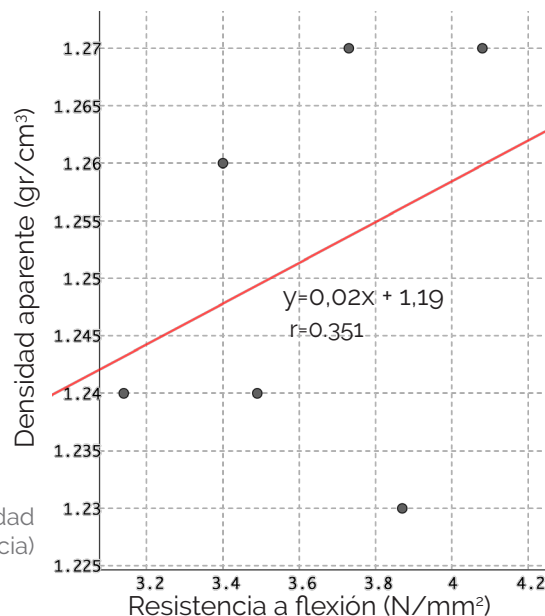
Fig. 15. Disposición toallitas en muestras del tipo PMTC.

Por el contrario, en el caso de las probetas con aditivo en forma de tiras se experimenta un descenso de los valores medios de resistencia a flexión con respecto a los de referencia, del 10%, en los tres tipos de porcentajes. Pudiéndose dar debido a que las tiras no han tenido ninguna dirección favorable ante tal esfuerzo y a las grandes dimensiones de estas, que ha producido que la muestra no trabaje como una unidad. No obstante, habría que seguir investigando sobre dicha disposición del residuo para verificar si dicha hipótesis es cierta con un mayor número de muestras.

En cambio, en el caso de las muestras con el aditivo en forma de agregado, se experimenta un aumento de los valores medios de resistencia a flexión con respecto a los de referencia en torno al 12%.

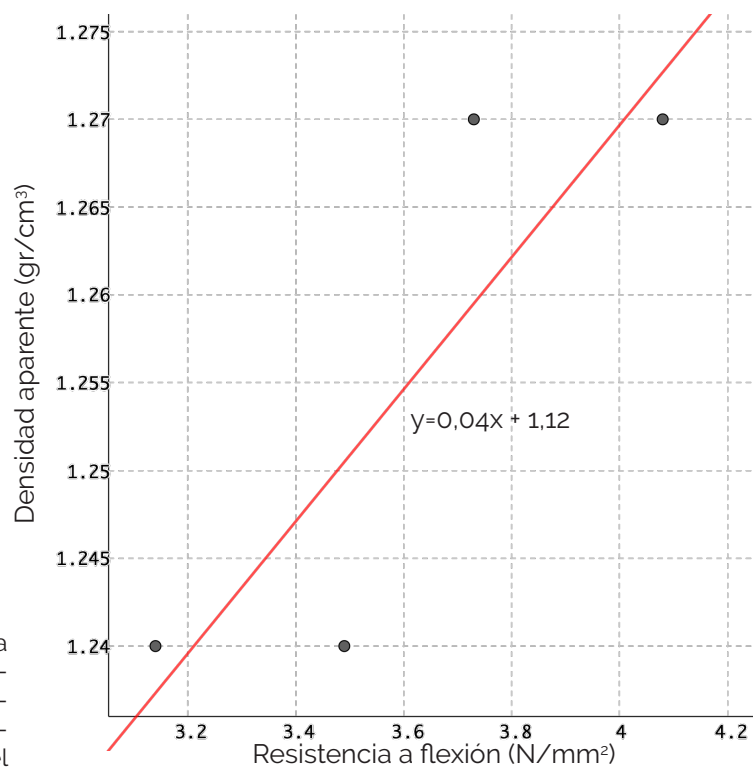
Por último, si intentamos buscar una dependencia entre variables, como densidad aparente y flexión, para cada tipo de disposición de residuos como de porcentaje de adición, obtenemos las siguientes gráficas.

Muestras de REFERENCIA



Gráfica 02. Relación inicial entre densidad / resist. a flexión (Referencia)

Gráfica 03. Relación entre densidad / resist. a flexión (Referencia)



*Para la obtención de esta gráfica se ha despreciado los datos obtenidos por parte de las probetas de Referencia 1 y Referencia 3, ya que distorsionaban el comportamiento de la muestra y con ello el coeficiente de correlación.

*Coeficiente de correlación $r=0.860$ *

Muestras de **PMTC/1**

Fig. 16 Probeta PMTC/1 tras ensayo de flexión



Gráfica 04. Relación entre densidad / resist. a flexión (PMTC/1)

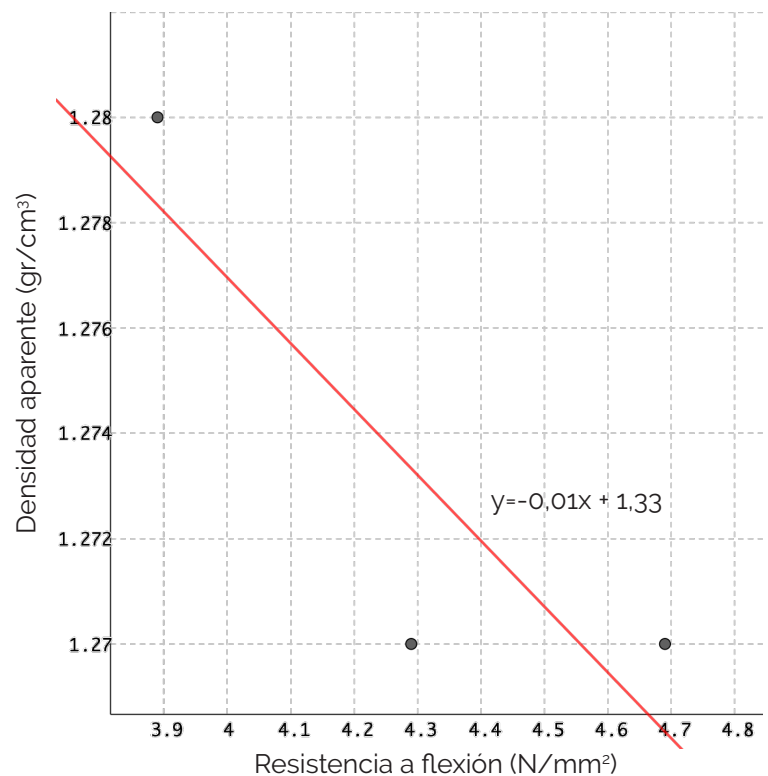
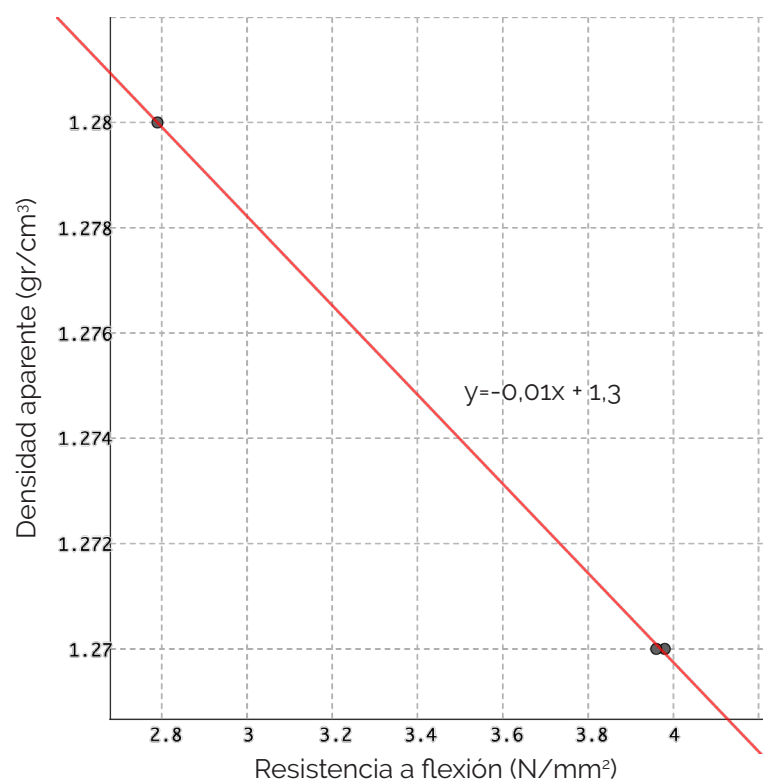
*Coeficiente de correlación $r = -0.866$ Muestras de **PMTC/2**

Fig. 17 Probeta PMTC/2 tras ensayo de flexión

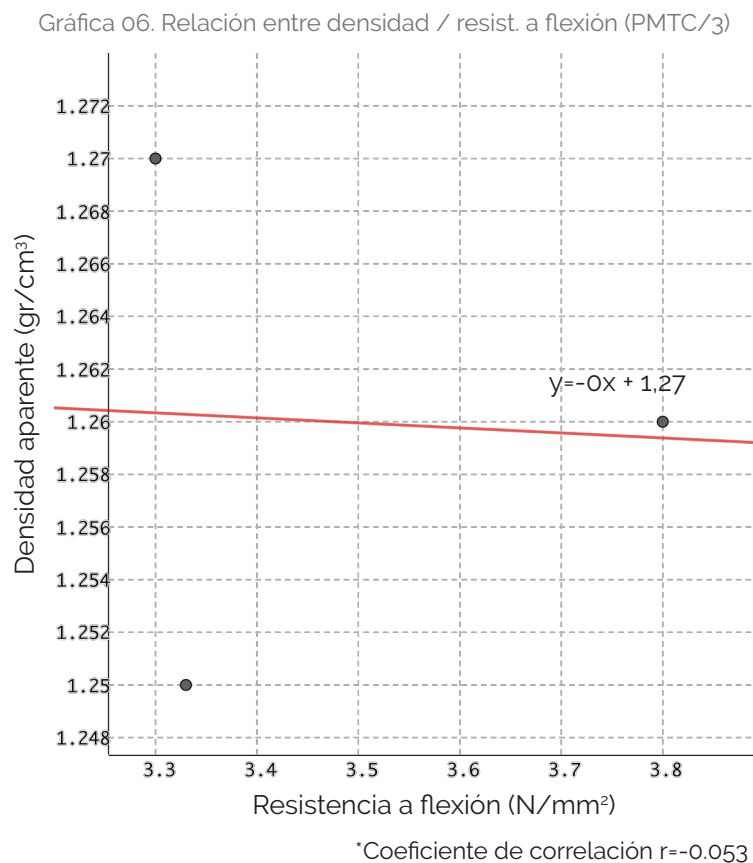


Gráfica 05. Relación entre densidad / resist. a flexión (PMTC/2)

*Coeficiente de correlación $r = -0.999$

Muestras de PMTC/3

Fig. 18 Probeta PMTC/3 tras ensayo de flexión

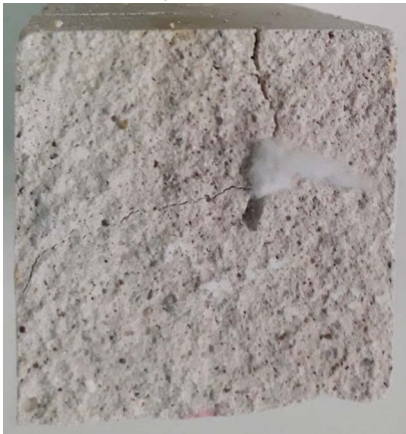


Como podemos comprobar en las [gráficas 04, 05 y 06](#), este tipo de muestra presenta un comportamiento totalmente opuesto a las muestras de referencia. En el cuál, según la [gráfica 03](#), se puede comprobar como a mayor densidad, mayor resistencia a flexión en el caso de las muestras de referencia (100% yeso). En cambio, en las [gráficas 04 y 05](#), vemos como a menor densidad, mayor resistencia a flexión. Es aquí donde se da constancia de la gran propiedad que tiene incorporar este residuo.

Hay que añadir, que los coeficientes de correlación en ambos casos son altos (de 0.860 en el caso de las muestras de referencia, y de 0.866 y 0.999 en el caso de las muestras PMTC/1 y PMTC/2) por lo que es viable dicha relación establecida. Llama la atención el caso de las muestras PMTC/3, donde no se puede llegar a establecer una relación directa entre variables, donde existe un coeficiente de correlación, muy bajo con respecto a las demás muestras, de 0.053. Ante tal situación, y con un número reducido de muestras, se deberían fabricar mas muestras para poder llegar a una conclusión definitiva. Por lo que finalmente, establecemos los valores medios como referencia en este tipo de muestra.

Muestras de **PMYTT/0,5**

Fig. 19 Probeta PMYTT/0,5 tras ensayo de flexión



Gráfica 07. Relación entre densidad / resist. a flexión (PMYTT/0,5)

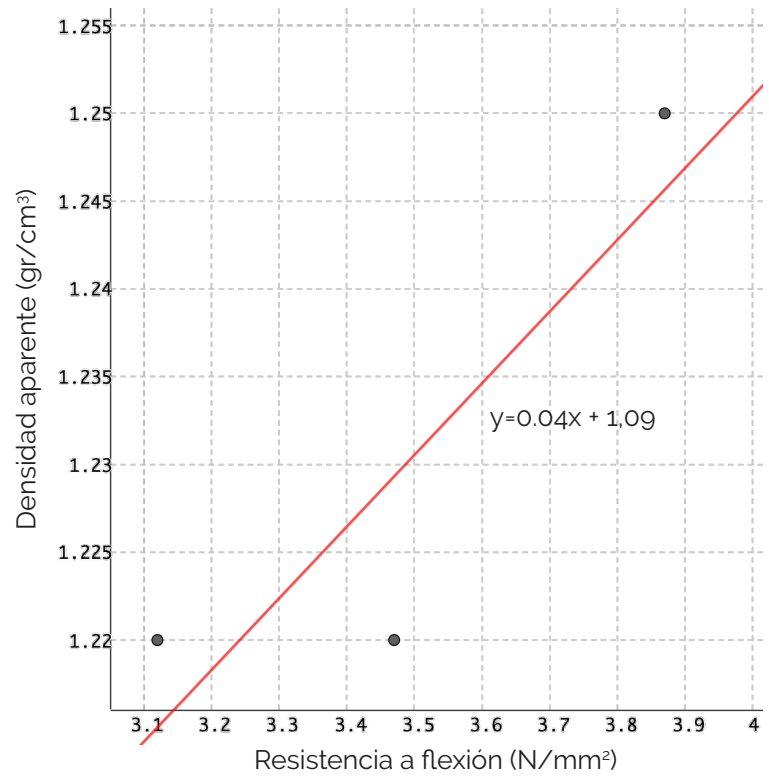
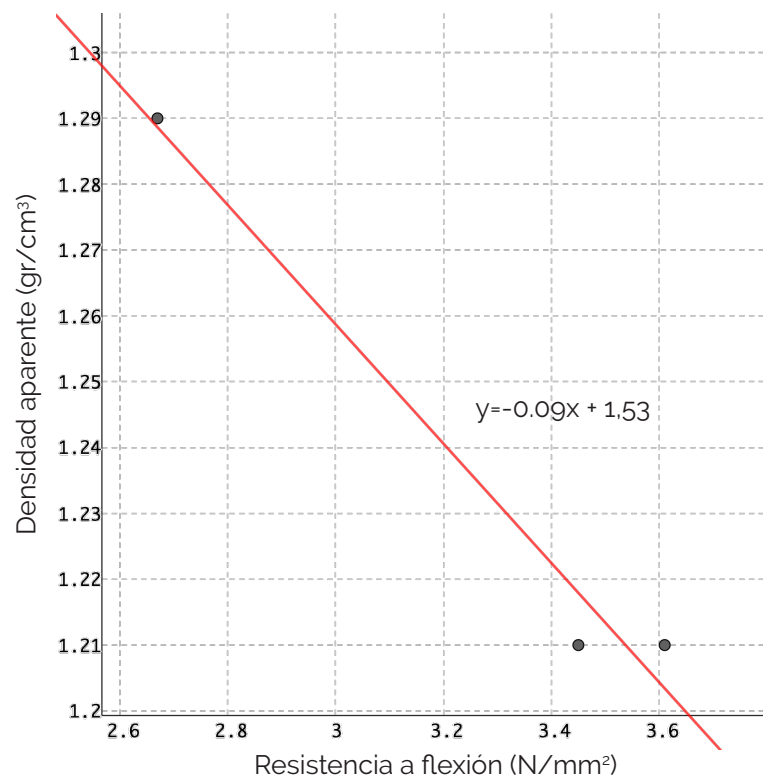
*Coeficiente de correlación $r = 0.884$ Muestras de **PMYTT/2**

Fig. 20 Probeta PMYTT/2 tras ensayo de flexión



Gráfica 08. Relación entre densidad / resist. a flexión (PMYTT/2)

*Coeficiente de correlación $r = -0.987$

Muestras de PMYTT/5

Gráfica 09. Relación entre densidad / resist. a flexión (PMYTT/5)

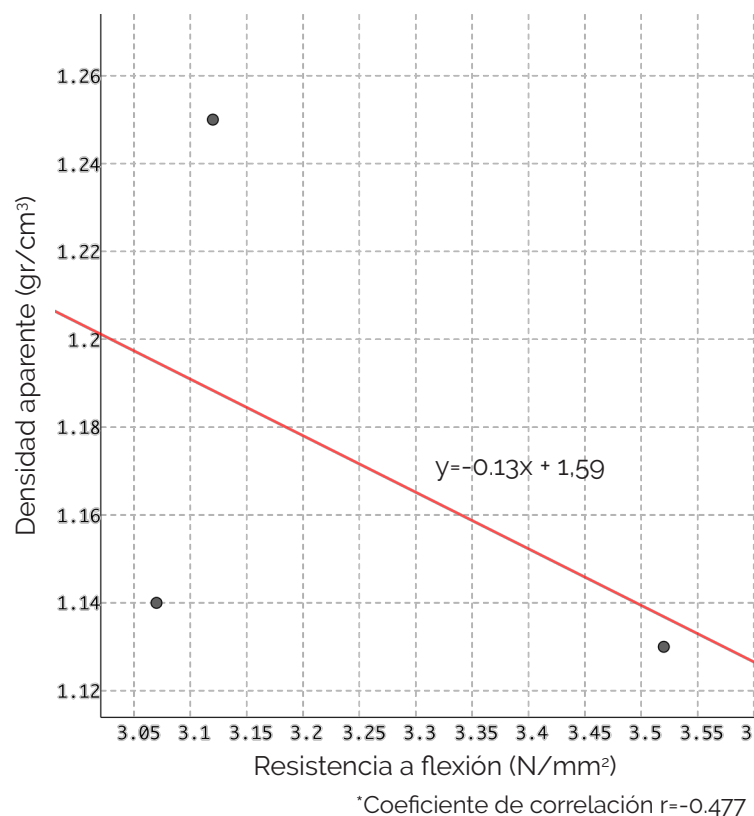


Fig. 21 Probeta PMYTT/5 tras ensayo de flexión



En este caso vemos que ocurre otro tipo de situación, observamos como las muestras PMYTT/0,5, (gráfica 07) tienen un comportamiento similar a las muestras de referencia (gráfica 03). Donde la relación entre las dos variables nos muestra que a mayor densidad, mayor resistencia a flexión, con un coeficiente de correlación de 0.884. Algo lógico ya que el porcentaje de aditivo de toallitas es reducido por lo que tendría un comportamiento similar al de las muestras de referencia. Además se comprueba que hay una alta relación entre las dos variables, siendo el valor máximo del coeficiente de correlación de 1. Pero en cambio, en el caso de las muestras PMYTT/2 (gráfica 08) y PMYTT/5 (gráfica 09), muestran un comportamiento totalmente opuesto la relación entre las variables, siendo esta decreciente. Por lo que a menor densidad, mayor resistencia a flexión, muestra del comportamiento que tiene el residuo de las toallitas. Señalando por último, que la muestras del tipo PMYTT/2 tiene un mayor coeficiente de correlación (0.987) que las del tipo PMYTT/5, (0.477), que puede deberse a un fallo de fabricación, como se puede ver en la figura 21, donde la mezcla de yeso y toallitas no se ha distribuido de forma correcta en la probeta.

Finalmente, sería recomendable seguir investigando sobre el comportamiento de este tipo de muestras ya que puede haber ocurrido algún otro fallo durante el proceso de fabricación de las muestras,

Muestras de PMTA/2,5

Gráfica 10. Relación entre densidad / resist. a flexión (PMTA/2,5)

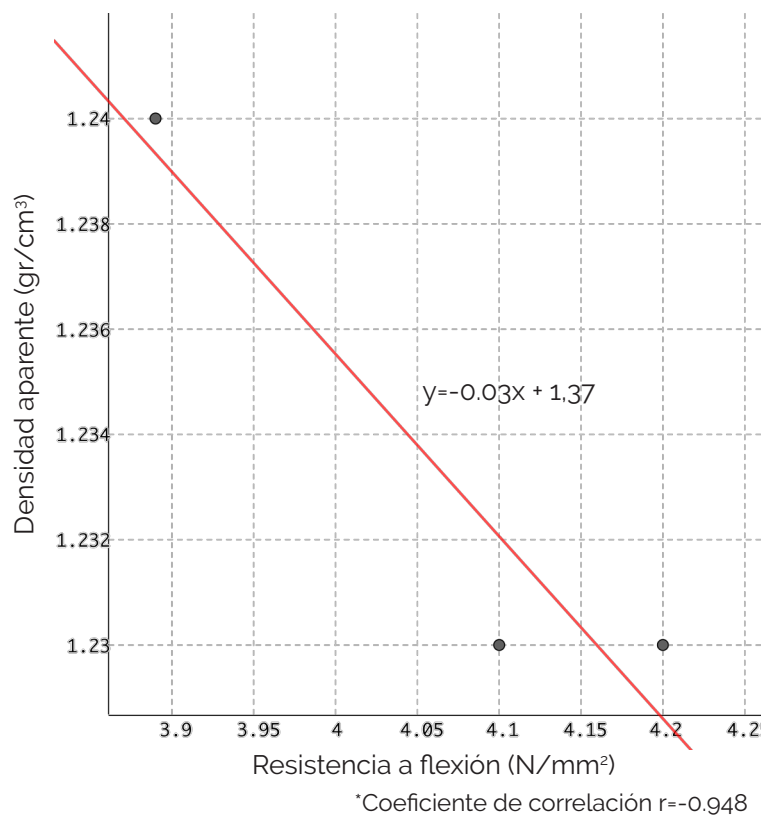


Fig. 22 Probeta PMTA/2,5 tras ensayo de flexión



Para este tipo de muestras, vemos como tiene una mayor resistencia a flexión cuanto menor es la densidad. Por lo que se muestra una dependencia de variables, similares a los casos de las muestras PMTC/1 (gráfica 04), PMTC/2 (gráfica 05) y PMYTT/2 (gráfica 08), con un coeficiente de correlación alto, 0.948.

Finalmente, nos damos cuenta de la ventaja que tiene incorporar este tipo de residuo, que incrementa la resistencia a flexión del material hasta un 18% en algunos de los casos estudiados.

7.2.2 COMPRESIÓN.

7.2.2.1 RESULTADOS.

Una vez realizado el ensayo de comportamiento mecánico a flexión en las probetas del tipo A, nos quedamos con el doble de muestras por cada tipo. Con ayuda de la misma prensa haremos este ensayo de comportamiento mecánico a compresión, diferenciándose del anterior en la forma de disponer la carga. Finalmente, obtenemos estos resultados tras convertir las cargas a las que ha estado trabajando durante el ensayo, en resistencia a compresión (N/mm²).

Probeta		Resistencia a compresión (N/mm ²)	
		A	B
Referencia	REFERENCIA 1	10.263	9.238
	REFERENCIA 2	10.288	9.063
	REFERENCIA 3	10.794	9.550
	REFERENCIA 4	10.106*	9.938
	REFERENCIA 5	8.694*	10.375
	REFERENCIA 6	10.675	10.006*
Capas	PMTC/1/1	8.819	7.913
	PMTC/1/2	10.056	8.813
	PMTC/1/3	9.531	9.538
	PMTC/2/1	6.500	6.306
	PMTC/2/2	6.375	5.27
	PMTC/2/3	4.89	5.13
	PMTC/3/1	6.381	6.20
	PMTC/3/2	6.713	5.38
	PMTC/3/3	6.22	5.57
Tiras	PMYTT/0.5/1	6.59	7.86
	PMYTT/0.5/2	9.02	8.98
	PMYTT/0.5/3	8.38	7.88
	PMYTT/2/1	5.88	8.08
	PMYTT/2/2	7.88	8.81
	PMYTT/2/3	8.49	7.73
	PMYTT/5/1	4.07	5.78
	PMYTT/5/2	6.27	5.58
	PMYTT/5/3	5.63	5.25
Agregado	PMTA/2.5/1	6.16	6.33
	PMTA/2.5/2	6.03	5.58
	PMTA/2.5/3	6.09	6.32

Tabla 06. Resultados ensayo comportamiento mecánico, compresión.

Probeta	Media resist. Compresión A (N/mm ²)	Media resist. Compresión B (N/mm ²)	Media resist. Compresión (N/mm ²)
REFERENCIA	10.505	9.632	10.07
PMTC/1	9.468	8.75	9.10
PMTC/2	5.921	5.687	5.80
PMTC/3	6.438	5.717	6.08
PMYTT/0.5	7.996	8.24	8.12
PMYTT/2	7.417	8.20	7.80
PMYTT/5	5.323	5.53	5.43
PMTA/2.5	6.093	6.07	6.08

*Para la obtención de las medias en las muestras de referencia se ha despreciado los datos obtenidos por parte de las probetas indicadas ya que distorsionaban el comportamiento de la muestra.

Tabla 07. Media de los resultados de ensayo comportamiento a compresión.

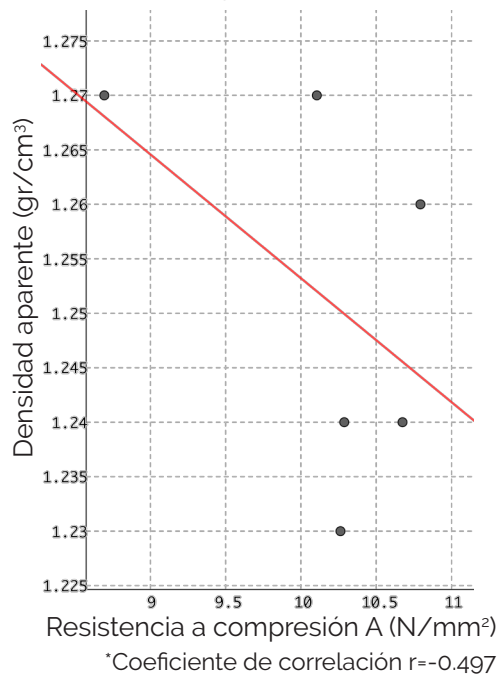
7.2.2.2 ANÁLISIS RESULTADOS.

Como podemos observar en la [tabla 07](#), los resultados medios de resistencia a compresión no suponen una gran ventaja con respecto a las muestras de referencia. Se comprueba como a líneas generales se lleva a cabo una reducción de la resistencia a compresión en las muestras de estudios con respecto a la de referencia, entorno al 9,6% y 46%. Destacando, no obstante, la resistencia a compresión proporcionada por parte de las muestras PMTC/1, que experimentan la menor reducción de resistencia.

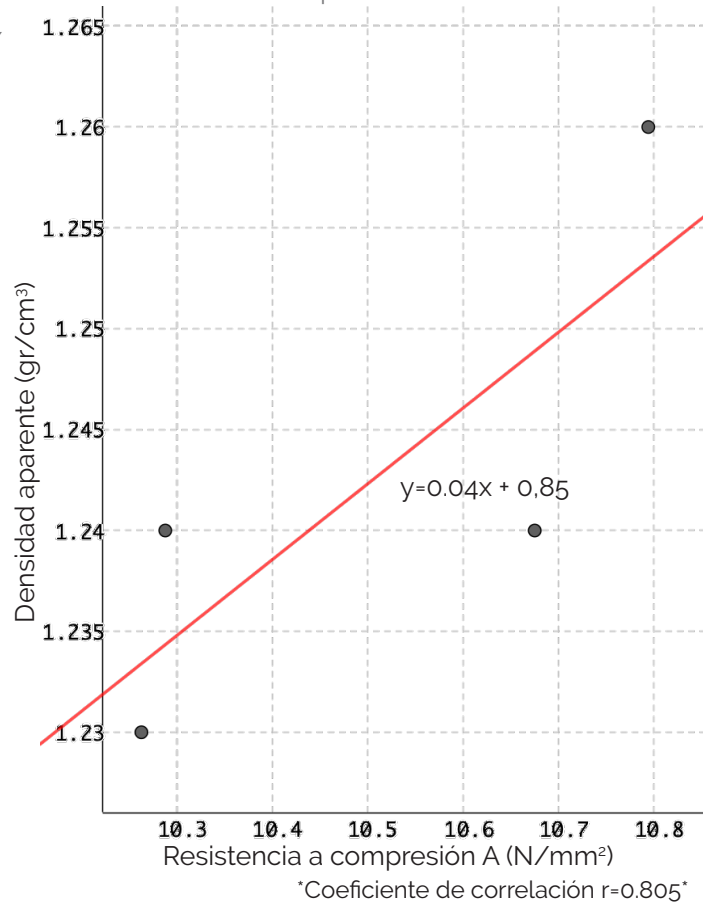
A continuación, pasamos a verificar si existe algún tipo de relación entre densidad (gr/cm³) y resistencia a compresión.

Muestras de REFERENCIA

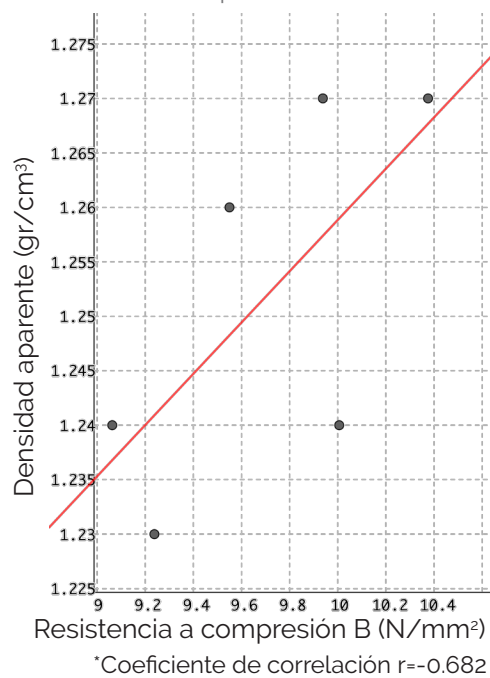
Gráfica 11. Relación original entre densidad / resist. a compresión A (Referencia)



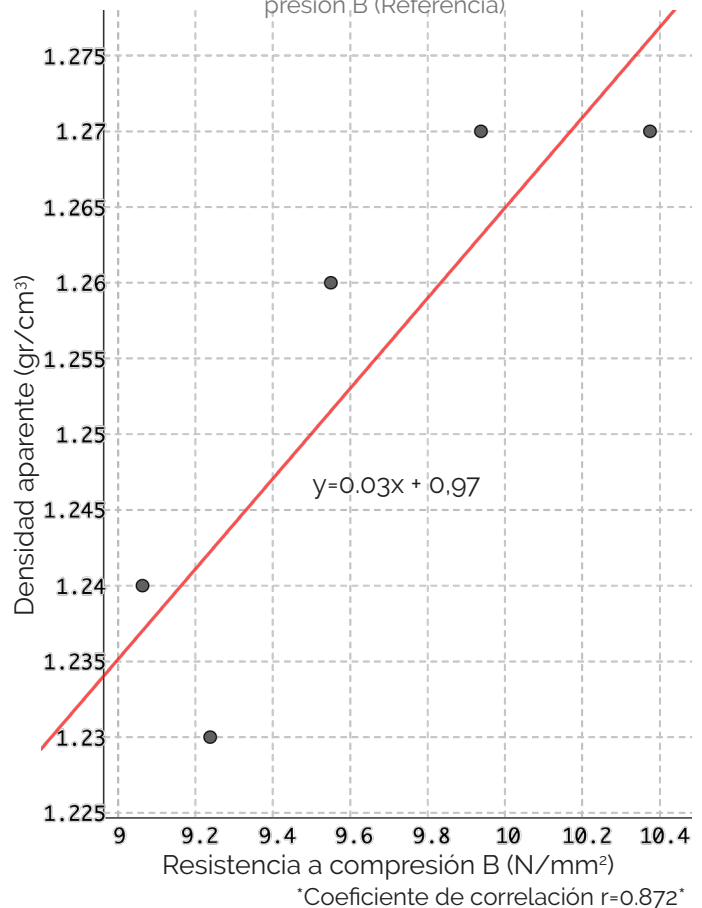
Gráfica 12. Relación entre densidad / resist. a compresión A (Referencia)



Gráfica 14. Relación original entre densidad / resist. a compresión B (Referencia)



Gráfica 13*. Relación entre densidad / resist. a compresión B (Referencia)



*Para la obtención de la gráfica, se ha despreciado los datos obtenidos por parte de estas probetas, ya que distorsionaban el comportamiento de la muestra y con ello el coeficiente de correlación.

Podemos observar en las **gráficas 12 y 13**, como se dan situaciones similares en ambas partes de las probetas, en A y B, tras corregir aquellos datos que distorsionaba el comportamiento de la muestra. Estas tienden a aumentar su resistencia a compresión conforme incrementa también su densidad, algo lógico. Además es prueba de que hay una dependencia entre variables, con coeficientes de correlación altos entre 0.805 y 0.872.

A continuación, para poder analizar los datos obtenidos en el resto de muestras con mayor rigurosidad a la hora de obtener una conclusiones, se opta, al tener un menor número de muestras, unificar las partes A y B. Teniendo, por tanto, un mayor número de muestras, partes A más partes B, para poder verificar si existe algún tipo de dependencia entre variables densidad-resistencia a compresión.

No obstante, antes de llevar a cabo este proceso se realiza una comprobación donde se intenta verificar que los datos obtenidos en las dos partes tengan alguna vinculación. Si lo trasladamos a una gráfica, los valores de resistencia a compresión de la parte A y B, debería dar como resultado la bisectriz, aproximada. Por ello, antes de unificar los valores, comprobamos dicha relación en cada una de las muestras.

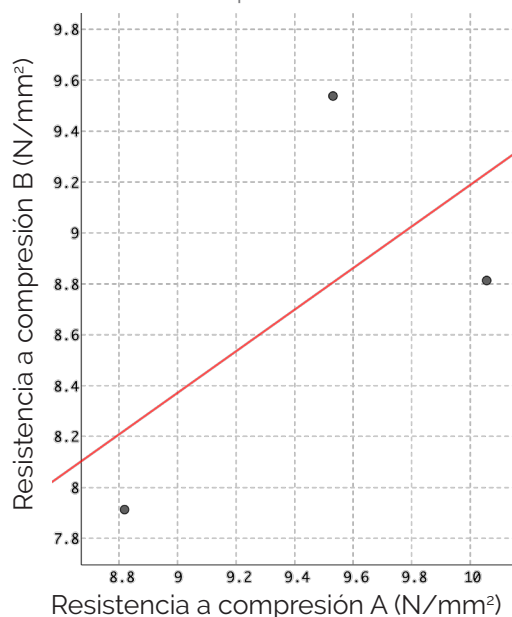
Muestras de PMTC/1

Probeta	Resistencia a compresión (N/mm ²)
PMTC/1/1/A	8.819
PMTC/1/1/B	7.913
PMTC/1/2/A	10.056
PMTC/1/2/B*	8.813*
PMTC/1/3/A	9.531
PMTC/1/3/B	9.538

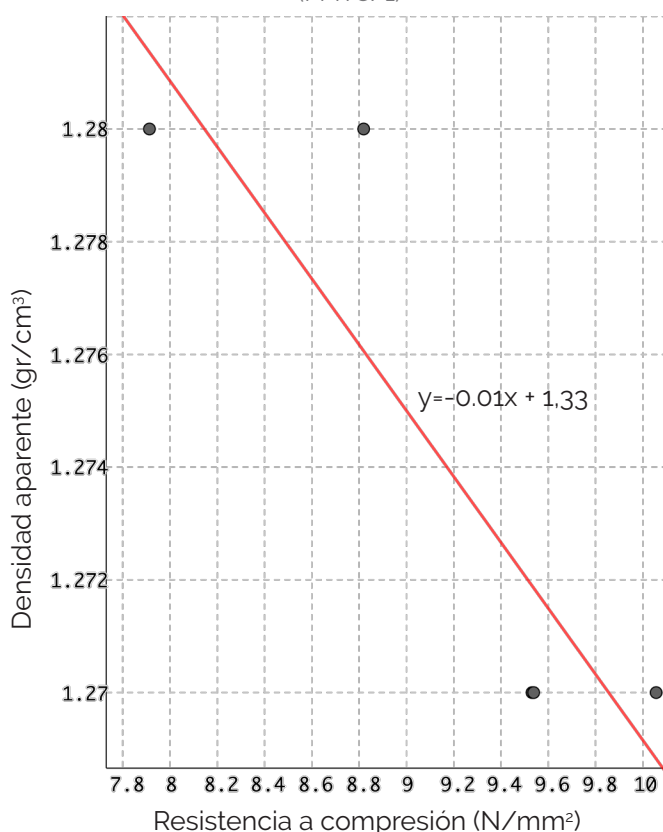
*Para la obtención de la gráfica, se ha despreciado los datos obtenidos por parte de estas probetas, ya que distorsionaban el comportamiento de la muestra y con ello el coeficiente de correlación.

Tabla 08. Resistencias a compresión PMTC/1

Gráfica 15. Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMTC/1)



Gráfica 16. Relación entre densidad / resist. a compresión (PMTC/1)



Coeficiente de correlación $r=0,886^$

Vemos como existe una relación entre variables con un coeficiente de correlación de 0.886. Donde a medida que disminuye la densidad se experimenta un aumento de la resistencia a compresión.

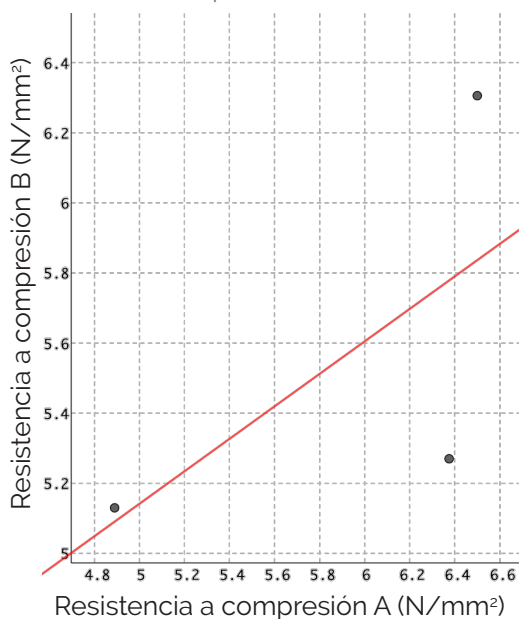
Muestras de PMTC/2

Probeta	Resistencia a compresión (N/mm ²)
PMTC/2/1/A*	6.5*
PMTC/2/1/B	6.306
PMTC/2/2/A	6.375
PMTC/2/2/B*	5.27*
PMTC/2/3/A	4.89
PMTC/2/3/B	5.13

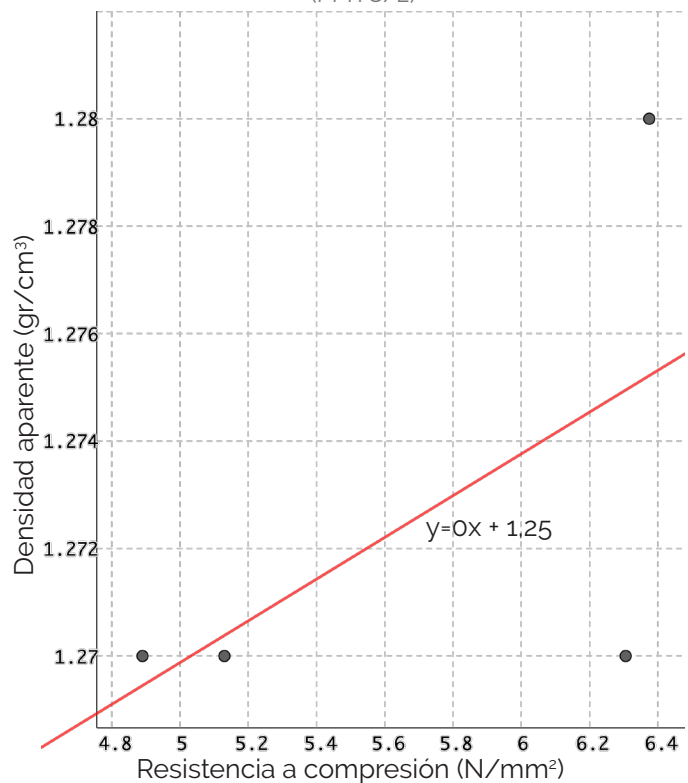
*Para la obtención de la gráfica, se ha despreciado los datos obtenidos por parte de estas probetas, ya que distorsionaban el comportamiento de la muestra y con ello el coeficiente de correlación.

Tabla 09. Resistencias a compresión PMTC/2

Gráfica 17. Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMTC/2)



Gráfica 18. Relación entre densidad / resist. a compresión (PMTC/2)



Coeficiente de correlación $r=0.602^$

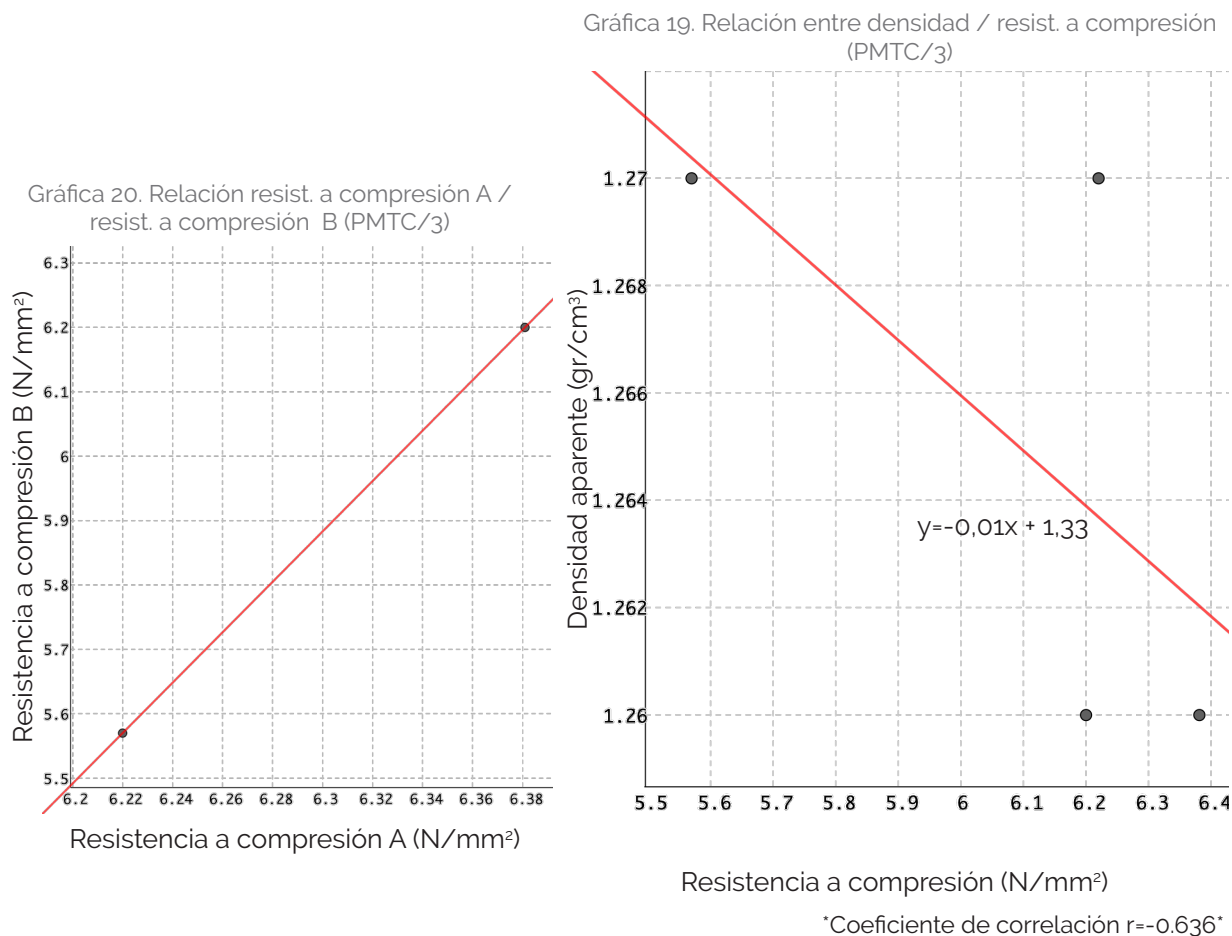
En este caso, vemos que ocurre la situación contraria, ya que se produce una relación lineal creciente en la que a mayor densidad mayor resistencia a compresión. Esto ocurre de igual manera en las muestras de referencia. Se presenta con un coeficiente de correlación de 0.602, tras haber eliminado aquellos datos que distorsionaban más el posible comportamiento de las muestras. A pesar de ello, el ser tan bajo dicho coeficiente da a lugar a pensar si ha habido algún tipo de problema de fabricación que haya afectado al comportamiento de la muestra a esfuerzos de compresión.

Muestras de PMTC/3

Probeta	Resistencia a compresión (N/mm ²)
PMTC/3/1/A	6.381
PMTC/3/1/B	6.2
PMTC/3/2/A*	6.713*
PMTC/3/2/B*	5.38*
PMTC/3/3/A	6.22
PMTC/3/3/B	5.57

*Para la obtención de la gráfica, se ha despreciado los datos obtenidos por parte de estas probetas, ya que distorsionaban el comportamiento de la muestra y con ello el coeficiente de correlación.

Tabla 10. Resistencias a compresión PMTC/3



Por lo que respecta a este tipo de muestra vemos que ocurre la misma situación que en las muestras del tipo PMTC/1, donde a menor densidad, mayor resistencia a compresión. Estas a su vez presenta un coeficiente de correlación de 0.971 tras eliminar aquellos valores que distorsionaban el comportamiento de la muestras y que no nos permitían obtener unas conclusiones.

No obstante, en este tipo de disposición de aditivo, en forma de capas, no se nota ninguna mejora de resistencia a compresión en relación con la densidad. Sin embargo hemos podido ver, con elevados coeficientes de correlación, que se produce una relación decreciente entre densidad y resistencia, es decir, a menor densidad mayor resistencia, gracias a las propiedades aportadas por las toallitas. Debemos destacar el caso de las muestras de PMTC/1 donde se experimenta la menor reducción de resistencia de compresión, aproximándose a los valores dados por la de la referencia.

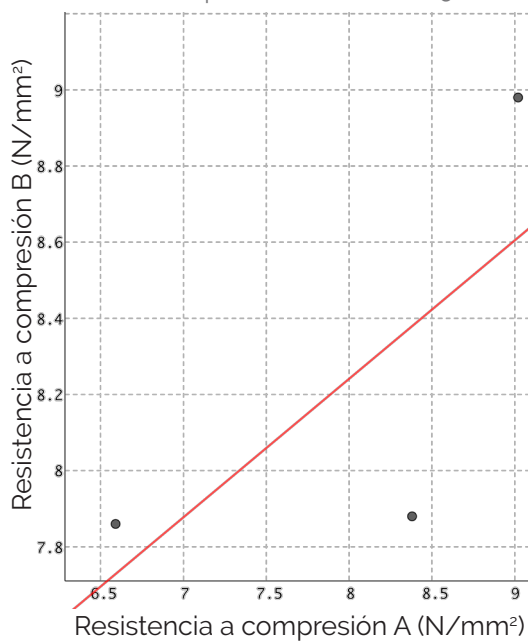
Muestras de PMYTT/0,5

Probeta	Resistencia a compresión (N/mm ²)
PMYTT/0,5/1/A*	6.59*
PMYTT/0,5/1/B	7.86
PMYTT/0,5/2/A	9.02
PMYTT/0,5/2/B	8.98
PMYTT/0,5/3/A*	8.38*
PMYTT/0,5/3/B	7.88

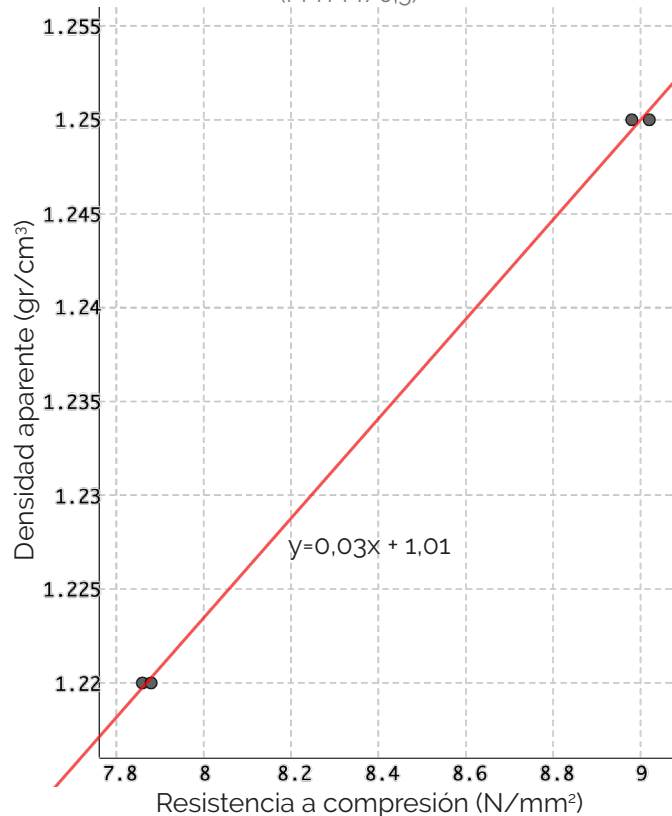
*Para la obtención de la gráfica, se ha despreciado los datos obtenidos por parte de estas probetas, ya que distorsionaban el comportamiento de la muestra y con ello el coeficiente de correlación.

Tabla 11. Resistencias a compresión PMYTT/0,5

Gráfica 21. Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMYTT/0,5)



Gráfica 22. Relación entre densidad / resist. a compresión (PMYTT/0,5)



*Coeficiente de correlación $r=0.999$ *

Se produce una situación similar a las de referencia, donde a mayor densidad mayor resistencia a compresión. Dicha relación entre variables se produce con un coeficiente de correlación de 0.999, muy próximo al valor máximo de dicho coeficiente, por lo que muestra una alta probabilidad de relación. El motivo de esta similitud puede deberse a que al ser el porcentaje de aditivo tan reducido, la muestra funciona como si fuera una muestra de yeso al completo, ya que la proporción de toallitas es insuficiente para que entre a funcionar y se haga ver sus propiedades.

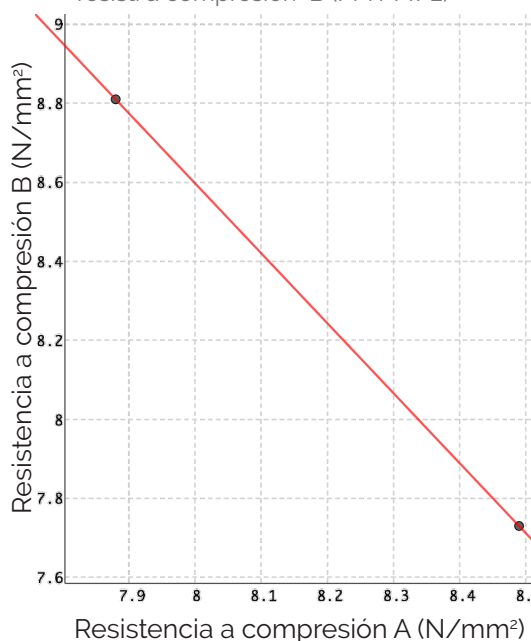
Muestras de PMYTT/2

Probeta	Resistencia a compresión (N/mm ²)
PMYTT/2/1/A*	5.88*
PMYTT/2/1/B*	8.08*
PMYTT/2/2/A	7.88
PMYTT/2/2/B	8.81
PMYTT/2/3/A	8.49
PMYTT/2/3/B	7.73

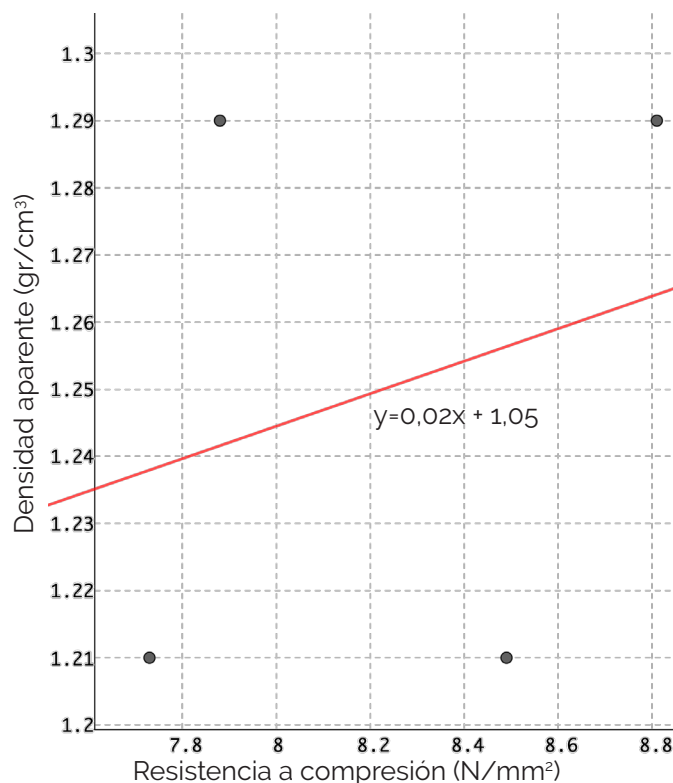
Tabla 12. Resistencias a compresión PMYTT/2

*Para la obtención de la gráfica, se ha despreciado los datos obtenidos por parte de estas probetas, ya que distorsionaban el comportamiento de la muestra y con ello el coeficiente de correlación.

Gráfica 23. Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMYTT/2)



Gráfica 24. Relación entre densidad / resist. a compresión (PMYTT/2)



*Coeficiente de correlación $r=0.266$ *

En estas muestras vemos como a través de la [gráfica 24](#), se produce una relación entre las dos variables de igual manera que en el caso anterior, PMYTT/0.5, y que en las muestras de referencia, donde a mayor densidad, mayor resistencia a compresión. No obstante, no se produce de manera clara esta relación, donde se da un coeficiente de correlación muy bajo, por lo que puede haber algún tipo de problema de fabricación que le afecte frente a estos esfuerzos o un escaso número de muestras. Por lo que habría que seguir investigando en este aspecto y fabricar un mayor número de muestras para poder realizar los correspondientes ensayos y así, poder establecer nuevas hipótesis.

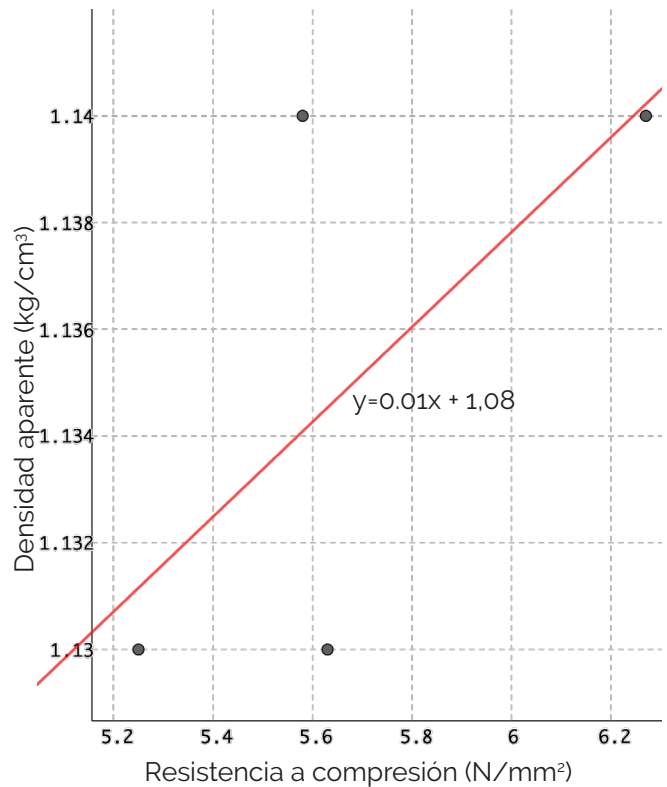
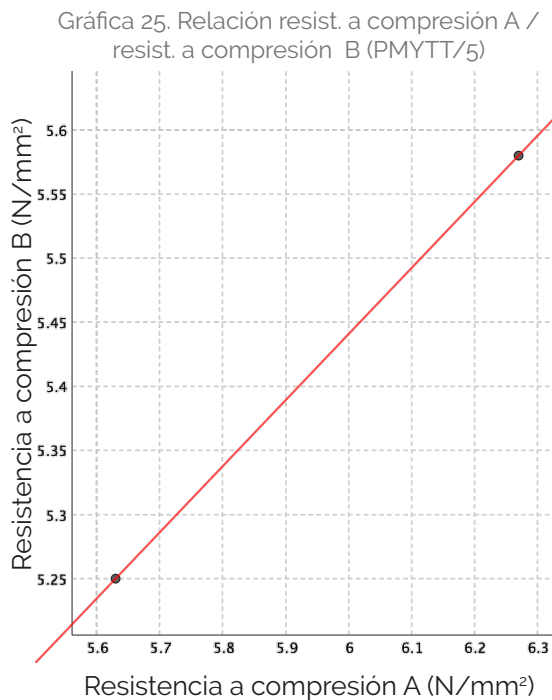
Muestras de PMYTT/5

Probeta	Resistencia a compresión (N/mm ²)
PMYTT/5/1/A*	4.07*
PMYTT/5/1/B*	5.78*
PMYTT/5/2/A	6.27
PMYTT/5/2/B	5.58
PMYTT/5/3/A	5.63
PMYTT/5/3/B	5.25

Tabla 13. Resistencias a compresión PMYTT/5

*Para la obtención de la gráfica, se ha despreciado los datos obtenidos por parte de estas probetas, ya que distorsionaban el comportamiento de la muestra y con ello el coeficiente de correlación.

Gráfica 26. Relación entre densidad / resist. a compresión (PMYTT/5)

*Coeficiente de correlación $r = -0.656$ *

Asimismo, en las muestras de mayor porcentaje de aditivo en forma de tiras, se experimenta la misma situación que en los anteriores casos. Produciendo una relación entre variables de forma creciente. Lo que implica que a mayor densidad, mayor valor de resistencia a compresión.

Por tanto, vemos como en esta disposición, las muestras trabajan de la misma forma que la probeta de referencia, a pesar de ir aumentando el porcentaje de aditivo. Desechando la primera hipótesis, de que solo las probetas PMYTT/0,5 trabajan de igual manera a compresión que las de referencia, al tener un porcentaje de aditivo muy reducido.

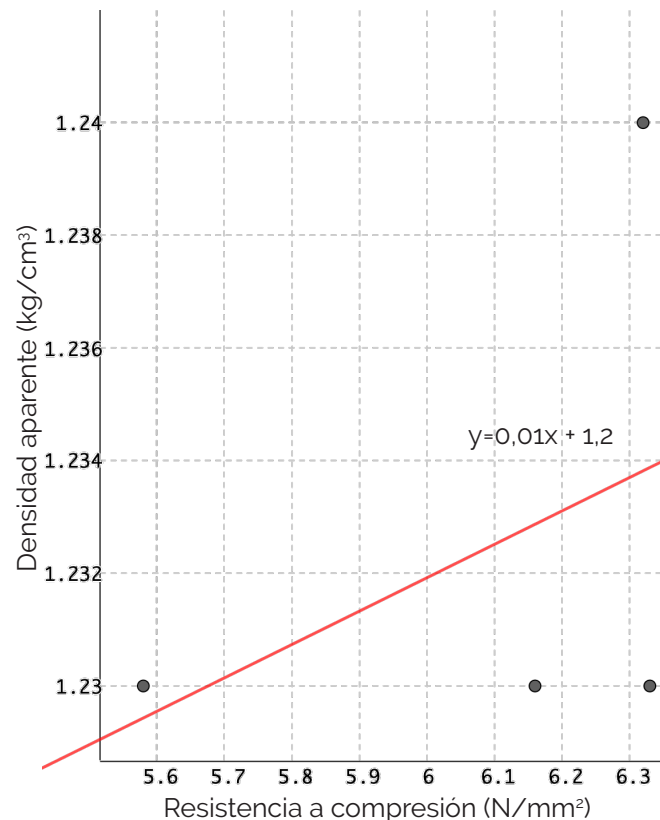
Muestras de PMTA/2,5

Probeta	Resistencia a compresión (N/mm²)
PMTA/2,5/1/A	6.16
PMTA/2,5/1/B	6.33
PMTA/2,5/2/A*	6.03*
PMTA/2,5/2/B	5.58
PMTA/2,5/3/A*	6.09*
PMTA/2,5/3/B	6.32

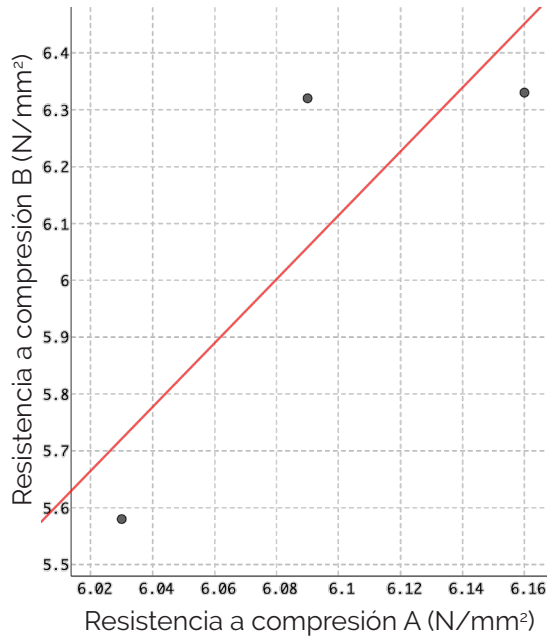
*Para la obtención de la gráfica, se ha despreciado los datos obtenidos por parte de estas probetas, ya que distorsionaban el comportamiento de la muestra y con ello el coeficiente de correlación.

Tabla 14. Resistencias a compresión PMTA/2,5

Gráfica 28. Relación entre densidad / resist. a compresión (PMTA/2,5)

*Coeficiente de correlación $r=0.419$ *

Gráfica 27. Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMTA/2,5)



A su vez, vemos en estas muestras como se experimenta una línea creciente, donde ambas variables presentan una dependencia, con un coeficiente de correlación de 0.419. Esta nos indica que a mayor densidad mayor será su resistencia, dándose por tanto, la misma situación que en las probetas de referencia como en las de tiras. No obstante, dicha relación no es del todo fiable, ya que se produce un coeficiente de correlación muy bajo.

Finalmente, vemos como las muestras con el residuo dispuesto en forma de capa (PMTC) presenta una dependencia del tipo decreciente, en la que a menor densidad, mayor resistencia a compresión. Comportamiento que hace constancia de nuevo de la propiedad que presentan los residuos de las toallitas, como su disposición ante tal esfuerzo. Esto queda reflejado en las medias de resistencias de compresión, dando las más altas este tipo de probetas con respecto a las otras. Mientras que, las de tiras (PMYTT) o las de agregado (PMTA) presentan una relación lineal creciente, comportándose de la misma forma que las muestras de referencia.

7.3 ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO ACÚSTICO (ABSORCIÓN ACÚSTICA).

7.3.1 RESULTADOS.

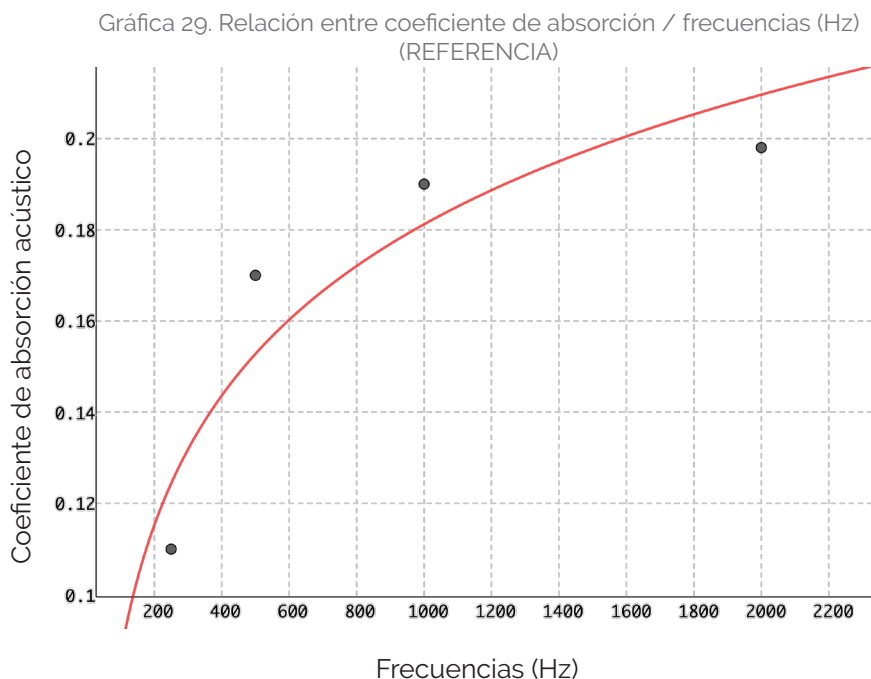
Una vez obtenidos los datos de presiones máximas y mínimas para frecuencias de 250Hz, 500Hz, 1000Hz y 2000Hz con ayuda del Tubo de Kundt de las probetas tipo B, obtenemos los siguientes coeficientes de absorción acústica (α_{NOR}).

COEFICIENTES DE ABSORCIÓN ACÚSTICA										
	250Hz					500Hz				
	p_{\min} (mV)	p_{\max} (mV)	n	α_{NOR}	Media α_{NOR}	p_{\min} (mV)	p_{\max} (mV)	n	α_{NOR}	Media α_{NOR}
PATC-1/1	1.22	32.7	26.80	0.14	0.135	1.45	29.1	20.06	0.18	0.17
PATC-1/2	1.26	35	27.7	0.13		1.26	29.2	23.17	0.16	
PATC-2/1	1.21	32.6	26.94	0.14	0.13	1.91	30.3	15.86	0.22	0.19
PATC-2/2	1.02	32.3	31.6	0.12		1.31	29.8	22.74	0.16	
PATR	0.945	33.1	35.02	0.11	0.11	1.07	29.7	27.76	0.13	0.13
REFERENCIA	0.935	30.8	32.94	0.11	0.11	1.41	29.4	20.85	0.17	0.17

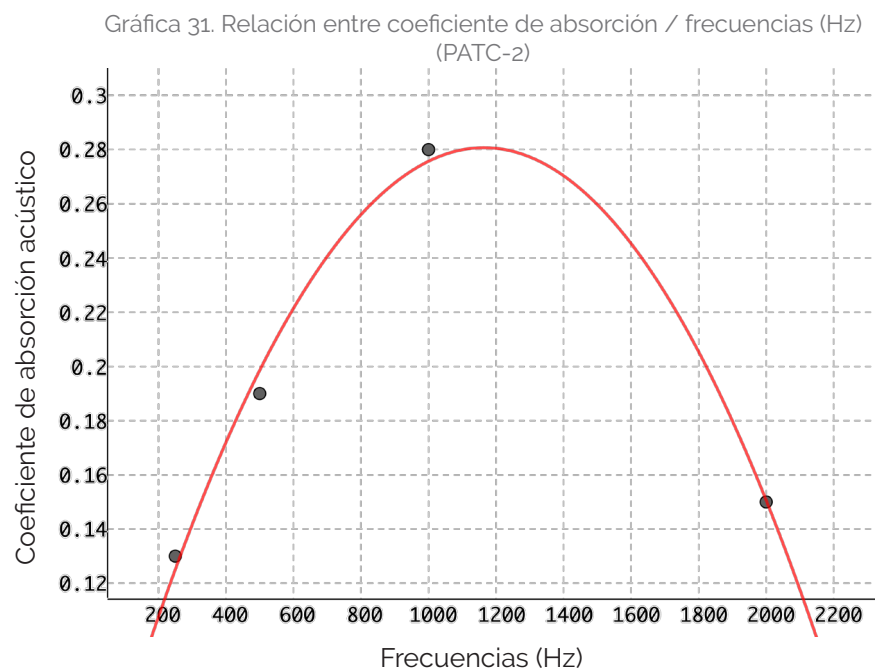
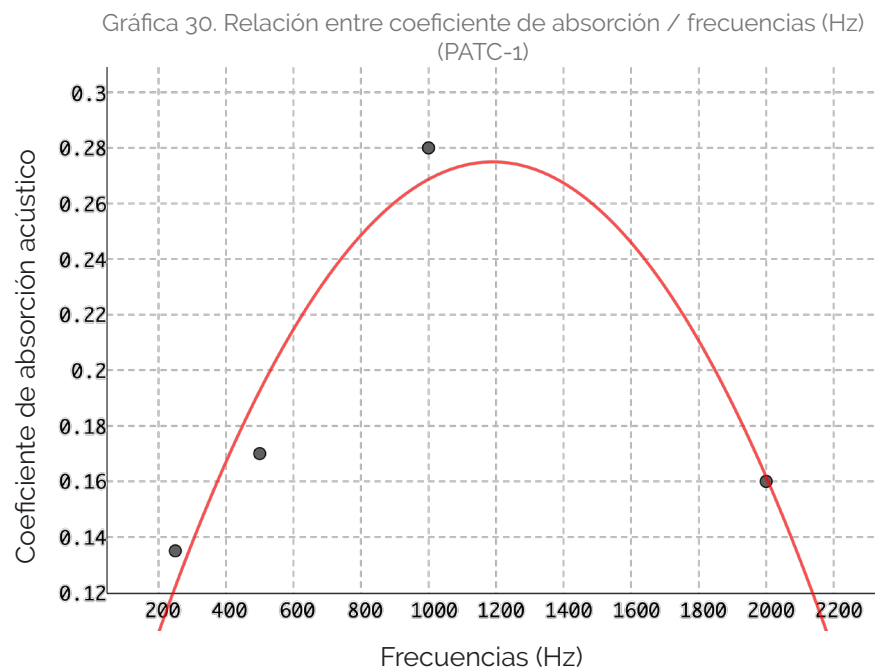
	1000Hz					2000Hz				
	p_{\min} (mV)	p_{\max} (mV)	n	α_{NOR}	Media α_{NOR}	p_{\min} (mV)	p_{\max} (mV)	n	α_{NOR}	Media α_{NOR}
PATC-1/1	0.561	5.6	9.98	0.33	0.28	0.0114	0.283	24.82	0.15	0.16
PATC-1/2	0.377	5.71	15.15	0.23		0.0134	0.285	21.27	0.17	
PATC-2/1	0.833	7.39	8.87	0.36	0.28	0.0098	0.283	28.87	0.13	0.15
PATC-2/2	0.330	5.62	17.03	0.20		0.0134	0.283	21.12	0.17	
PATR	0.308	5.62	18.24	0.20	0.2	0.0137	0.285	20.80	0.17	0.17
REFERENCIA	0.283	5.28	18.66	0.19	0.19	0.0144	0.260	18.06	0.198	0.198

Tabla 15. Resultado de los coeficientes de absorción acústica

7.3.1 ANÁLISIS RESULTADOS.

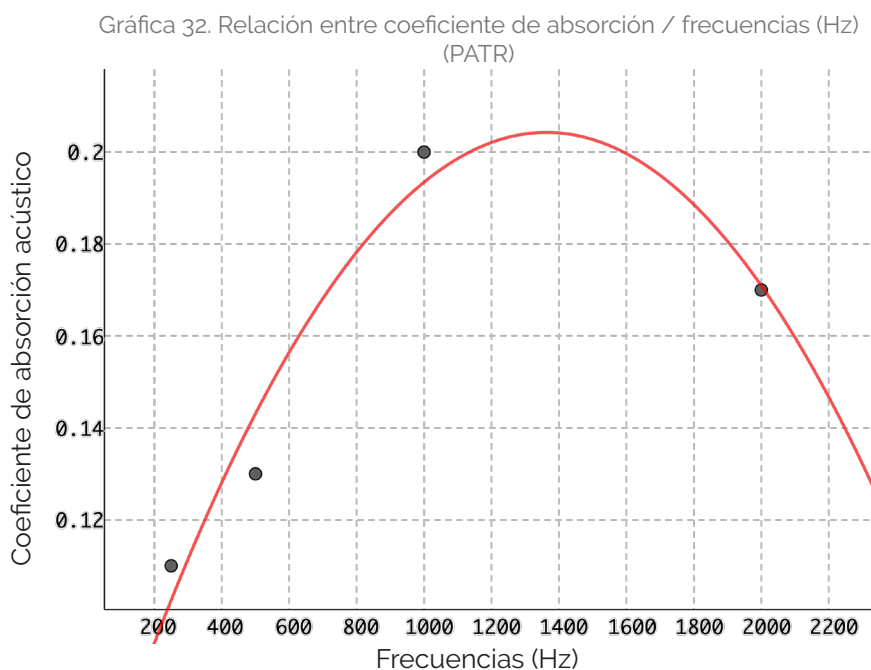


Se puede observar como la muestra de referencia tiene una tendencia logarítmica, un coeficiente de absorción bajo en el caso de frecuencias bajas, respondiendo estos a sonidos graves, y coeficiente absorción que tiende a ser más elevado para frecuencias medias y altas, correspondiendo a sonidos de tonos medios y agudos.

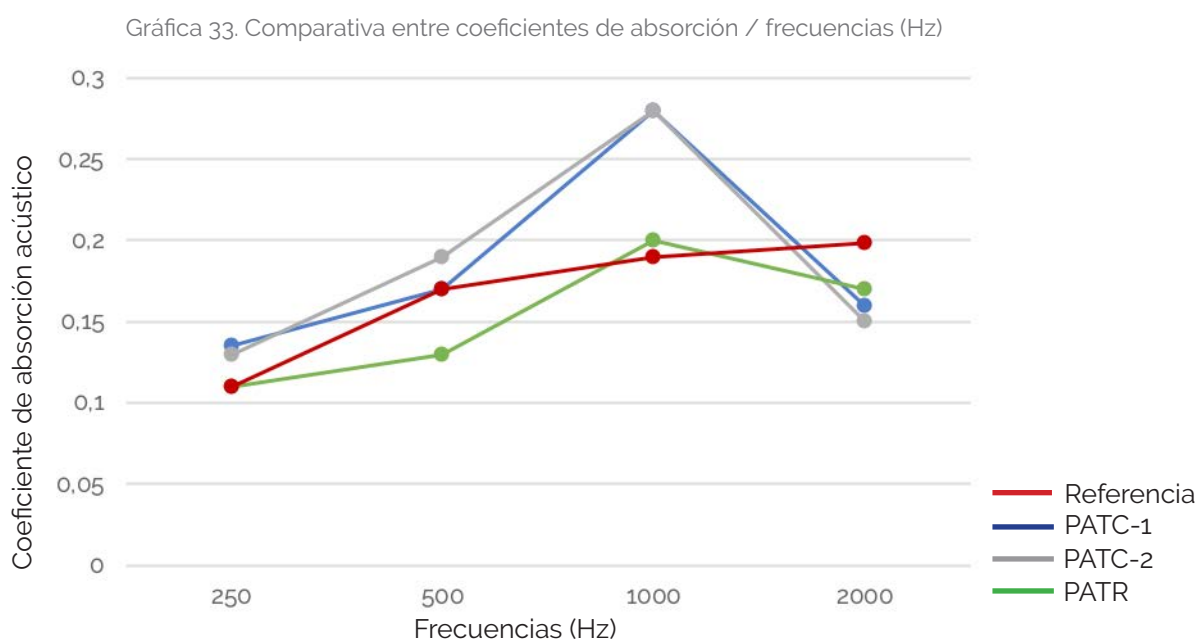


Como ya sabemos el objeto de estudio ha sido obtener los coeficientes de absorción acústica para varios tipos de acabados superficiales con toallitas. En el caso de las muestras con una capa superficial (PATC-1), vemos como se comporta de manera distinta a las de referencia. A su vez, este comportamiento ocurre de igual manera en el caso de las muestras recubiertas por dos capas superficiales de toallitas (PATC-2). Por lo que tendría un coeficiente de absorción acústica más bajo para frecuencias bajas y altas, y más elevado para frecuencias medias correspondiéndose a sonidos medios, ni muy graves ni muy agudos.

Por último, nos encontramos el caso de las muestras donde se ha dispuesto la toallitas con ondulaciones (PATR). Como podemos ver se da el mismo comportamiento que en las situaciones anteriores, con un coeficiente de absorción más bajo para frecuencias bajas y altas, y más elevado para frecuencias medias.



Si hacemos un análisis comparativo entre las muestras vemos como presentan distinta modulación acústica.



Vemos como las muestras con una capa superficial (PATC-1) y las de dos capa (PATC-2) presentan un comportamiento casi similar a frecuencias de 250Hz. Mientras que la muestra PATR, se presenta con un coeficiente de absorción acústica similar a la de referencia.

En cambio, a frecuencias de 500Hz vemos como la muestra PATC-2 posee un coeficiente más elevado y la muestra PATR, el más bajo. Donde los valores de la muestra PATC-1 son muy similares a la de referencia para esta frecuencia.

Con respecto a frecuencias de 1000Hz, las muestras de una capa (PATC-1) y dos capas (PATC-2) son las que presenta mayor coeficiente de absorción seguidas por las muestras del tipo PATR. Siendo la muestra de referencia la que presenta un coeficiente de absorción mas bajo para esta frecuencia.

En el caso de frecuencias elevadas, de 2000Hz la de referencia presenta un mayor coeficiente de absorción, seguida por las muestras del tipo PATR. Presentando un coeficiente menor de absorción las muestras del tipo PATC-2.

Por lo que podemos concluir, dependiendo los requisitos, que a frecuencias de 250Hz, un mayor coeficiente de absorción por parte de muestras del tipo PATC-1, y menor coeficiente por parte de las muestras PATR. A frecuencias de 500Hz, un mayor coeficiente de absorción por parte de las muestras PATC-2 y menor por parte de las muestras PATR. A frecuencias de 1000Hz, un mayor coeficiente por parte PATC-2 y menor por parte de la muestra de referencia. Y a frecuencias de 2000Hz, un mayor coeficiente de absorción por parte de la muestra de referencia, y menor con muestras del tipo PATC-2.

7.4 CONCLUSIONES.

A modo de resumen, se disponen un recordatorio de las principales conclusiones obtenidas en los ensayos realizados.

ENSAYOS DE DENSIDAD APARENTE Y PESO.

En cuanto a densidad aparente y a peso se refiere, vemos como las probetas donde se dispone el aditivo en forma de capa supone un aumento de densidad y peso. Debido a que su disposición no supone una reducción sino mas bien, un aumento, del cual esta actúa como si fuera un fibra. Aunque puede darse lugar que a una mayor número de capas se experimente una reducción de densidad y peso, ya que en las muestras donde se ha dispuesto 3 capas se ve una ligera disminución de densidad y peso con respecto a las otras muestras, pudiendo afectar a su vez a las capacidades mecánicas de esta.

En cambio, en el caso de las muestras dispuesta el aditivo el forma de tiras o de agregado se experimenta un reducción de densidad y peso. En la que a mayor cantidad de aditivo, menor peso y densidad por tanto. No obstante, para ver cuál disposición es más óptima a la hora de experimentar una disminución de densidad habría que realizar un mayor número de muestras.

ENSAYOS MECÁNICOS.

Hemos podido observar en algunas de las muestras estudiadas como estas se ven beneficiadas por la presencias de las toallitas. Ante tal situación, se mostraban coeficientes de correlación elevados, que pueden deberse a un correcto y fiable comportamiento de la muestra, o debido al número reducido de muestras, lo que hace que haya un margen de duda en las conclusiones obtenidas. Debemos destacar el proceso de elaboración de las muestras ya que influyen directamente en el comportamiento de estas. Claro ejemplo de lo sucedido durante el plan experimental, donde las muestras con el aditivo en forma de capa se tuvieron que repetir debido a problemas de fabricación, como al fallo de la disposición de la muestra ante la carga de rotura de flexión.

No obstante, vemos como las muestras con una capa de toallitas (PMTA/1) y la de agregado (PMTA/2,5) son las que experimentan una mayor resistencia a flexión llegando a superar la de referencia entorno al 18% y 12%. Resultado de las buenas propiedades resistentes que han sido descubiertas por parte de las toallitas, convirtiéndose en fibras de refuerzo, para un material que presenta un rotura frágil, y que al añadir este tipo de residuos presentan un rotura dúctil.

En cambio, a lo que respecta a resistencia a compresión no se experimenta ningún aumento con respecto a la de referencia, produciéndose una ligera disminución en el caso de las muestra de PMTC/1.

ENSAYOS ACÚSTICOS (ABSORCIÓN ACÚSTICA).

Con lo que respecta a la acústica comprobamos que a frecuencias de 1000Hz y 250Hz se experimenta un aumento de los coeficientes de absorción acústica y a 2000Hz una disminución de los coeficientes de absorción acústica, en las muestras estudiadas. Obteniendo unos resultados que se adaptan a los distintos requisitos que se exijan (*gráfica 33*), donde se comprueba que el material tiene una mejor absorción a frecuencias medias.

Concluyendo por tanto, el origen de varias líneas de investigación donde este tipo de compuesto podría aplicarse en un producto para la edificación.

Investigando sobre las ventajas de incorporar el residuo en forma de una capa interior en productos de construcción tales como paneles de yeso laminado, actuando esta como fibra ante esfuerzos a flexión. A su vez, seguir estudiando cuál puede ser el comportamiento de las muestras con un incremento de las capas de residuos, verificando si se experimenta una reducción de densidad. O cuál es el funcionamiento que tiene la disposición en forma de capa en moldes de mayor dimensión superficial y menor espesor, semejante a lo que podría formar parte de unos paneles de falso techo, o de un trasdosado de cartón-yeso.

A ello se le une, las ventajas que puede suponer acústicamente tener un acabado superficial de toallitas húmedas. De las cuáles según la modulación acústica y las exigencias del producto, podemos colocar desde un acabado superficial compuesto por 2 capas superficiales de toallitas hasta hacer unas posibles ondulaciones con el propio producto.

Finalmente se abre también otro campo de investigación, donde se podría elaborar productos conformados por yesos y residuos de toallitas en pequeñas proporciones, como en el caso de las **muestras PMTA/2,5**. Este tipo de material presenta varias **ventajas**, tiene **menor densidad** que las muestras de referencia de yeso, aunque no es el que presenta mayor reducción de densidad (PMYTT/5). Pero a cambio, presenta un muy **buen comportamiento a flexión**, aumentando las capacidades de resistencia frente a flexión un 12%. A la que se le une una **mayor facilidad** a la hora de **tratar el residuo** que no lo posee la disposición en forma de capas. Donde esta solo debería tener un proceso de eliminación de materia orgánica y de triturado.



Toallitas extraídas de la red de saneamiento de Nueva York, Fuente: *Bloomberg*, David Dee Delgado.

8. DISEÑO DEL PRODUCTO PROPUESTO.

8.1 PRODUCTO PROPUESTO.

Como conclusión a esta investigación se busca una futura aplicación de este nuevo material, yeso mas gregado de toallitas (2,5%) en un producto constructivo. Para ello, se reflexiona sobre su aplicación en un producto que sirva de partición interior, es decir, que forme parte de las tabiquerías que nos podemos encontrar en las viviendas actuales.

Comprobamos como en España, este tipo de partición que separa distintas estancias de una vivienda o viviendas entre sí, suelen fabricarse con ladrillos huecos dobles o simples y mortero de cemento, un sistema tradicional [figura 23], o a través de paneles de yeso laminado, comúnmente denominado, cartón-yeso [figura 24], un sistema prefabricado. Al fin y al cabo son sistemas constructivos eficaces pero que tienen un gran impacto medioambiental detrás. Un ejemplo de ello, es que la producción de un kilo de ladrillos en España puede llegar a consumir 3,56 megajulios de energía primaria, gastar 1,89 litros de agua y emitir 270 gramos de CO₂ a la atmósfera, según explica Ignacio Zabalza, del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE) [31].

Por ello, el objetivo es proponer un producto que implique una mejora en los sistemas constructivos actuales de manera ecoeficiente. A la que se le busca, también, una reducción de costes de mano de obra con el fin de conseguir un mayor rendimiento y un sistema seco y perfecto, donde solo quede por aplicar la capa de acabado final.

Ante estos objetivos se dispone, como una buena alternativa, paneles de yeso, es decir, bloques prefabricados de yeso de 2,6m de alto y 0,5m de ancho con un espesor entre 0,07 y 0,09cm [figura 25]. Estos se diferencian de los tradicionales sistemas de cartón-yeso, dados por fabricantes como "Pladur", "Knauf" o "Placo" entre otros muchos, por no necesitar una estructura metálica auxiliar de perfiles "C" de acero galvanizado y tornillería de fijación de los paneles.

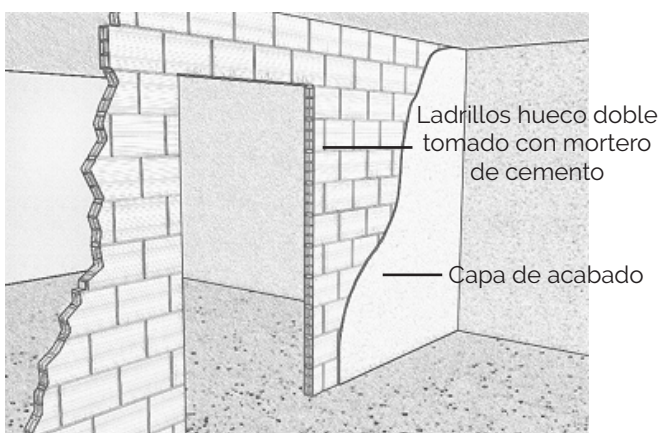


Fig. 23 Tabiquerías realizadas con ladrillos cerámicos

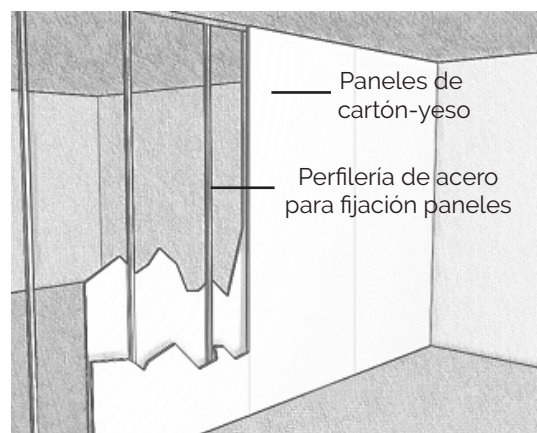


Fig. 24 Tabiquerías realizadas paneles de cartón-yeso

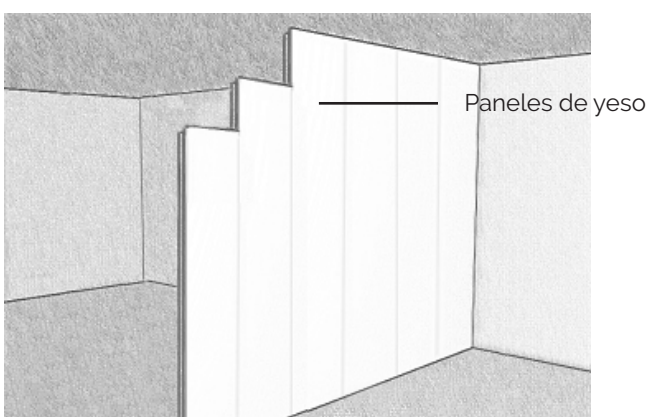


Fig. 25 Tabiquerías realizadas con paneles de yeso

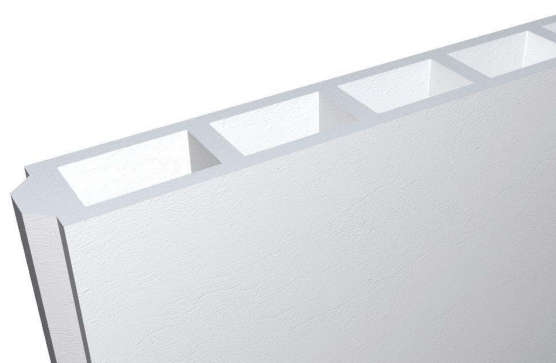


Fig. 26 Paneles de yeso, PanelSystem

Por lo que este sistema constructivo, de paneles, implica un menor número de materiales a usar, ya que para su instalación necesitarías los paneles, que en obras se unen gracias a una juntas machihembradas, hechas ya en fábricas, y pegamento, constituido básicamente por yeso,

Ante esta alternativa de sistema constructivo de particiones interiores, se va a dirigir nuestra atención. Es un sistema fácil, que no necesita mano de obra especializada, que destaca por su rapidez de instalación, de limpieza en obra y por el uso de menos materiales. Por lo que podría ser un producto idóneo para poder utilizar nuestro material investigado con residuos de toallitas, y tener como resultado, un producto de edificación ecoeficiente, fácil de instalar y de poco coste de mano de obra.

8.2 DEFINICIÓN PRODUCTO PROPUESTO.

Sabiendo cual va a ser nuestro producto de referencia, se lleva a cabo una búsqueda de él en el mercado, para poder establecer una comparación entre el producto ya comercializado y el hipotético producto donde se utiliza como material de fabricación yeso más toallitas. Con el fin de establecer unas conclusiones, sobre su viabilidad y su impacto medioambiental.

Para ello, tomamos de referencia los paneles fabricados por "PanelSystem". Paneles con unas dimensiones de 2,6m de alto, 0,5 de ancho y de espesor de 7cm o 9cm compuesto de yeso fundamentalmente. No obstante, se añaden una serie de aditivos, como fibra de vidrio de primera generación y fibras de celulosa, con el objetivo de aumentar resistencia y aligerar peso. Estos se encuentran en una proporción de por cada 100kg de yeso 1 kg de fibras de vidrio, y por cada 100kg de yeso 0,8kg de fibras de celulosa.

Se adjunta una tabla resumen de las principales características de los paneles "PanelSystem",

PANELSYSTEM		
	Panel e=7cm	Panel e=9cm
Longitud (mm)	2600	2640
Anchura (mm)	500	500
Espesor (mm)	70,01	90,03
Escuadría (mm)	3	3
Planeidad	1,01	0,76
Peso (Kg/m ²)	36,78	40,7

Material de fabricación	
Resistencia a flexión	2,94 N/mm ²
Resistencia a compresión	5,50 N/mm ²

Producto		
	Panel e=7cm	Panel e=9cm
Resistencia a flexión, Tensión de rotura	0,00089 N/mm ²	0,00103 N/mm ²

Tabla 16. Características paneles PanelSystem

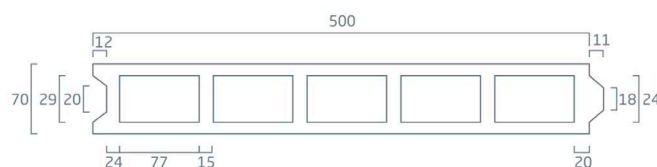


Fig 28. Paneles PanelSystem TC-7, espesor 7cm



Fig 27. Instalación paneles PanelSystem

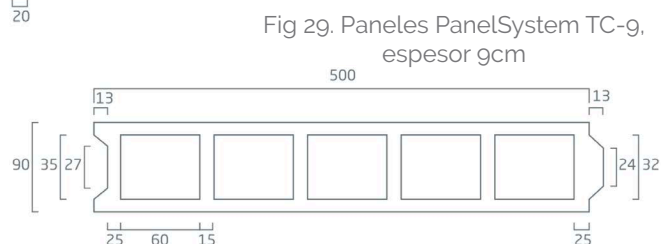


Fig 29. Paneles PanelSystem TC-9, espesor 9cm

Dicho producto requiere una normativa que cumplir durante su proceso de fabricación, con los correspondientes ensayos normalizados, como también, las exigencias que este debe alcanzar para cumplir con unas series de condiciones de confort, aislamiento acústico y térmico, y resistencia frente al fuego. Entre esa normativa tenida en cuenta, se encuentra:

- **UNE EN 12859:2001** Paneles de yeso. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.
- **UNE EN 13279 2005** Yeso de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción.
- **UNE EN 13501 2:2004** Clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de su comportamiento ante el fuego. Parte 2: Clasificación a partir de los datos obtenidos de los ensayos de resistencia al fuego excluidas las instalaciones de ventilación.
- **UNE EN ISO 12354** Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos.
- **CTE DB SE AE.** Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación.
- **CTE DB HR.** Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Protección frente al ruido.
- **CTE DB HS.** Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Salubridad.
- **CTE DB SI.** Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Seguridad en caso de incendios.
- **CTE DB HE.** Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Ahorro de energía.

Tras conocer la normativa que se ha tenido en cuenta, pasamos a realizar una comparación de este producto y del material del que esta hecho, con en el propuesto de yeso más agregados de toallitas en una proporción de 2,5%. Hay que recordar, que estos paneles producidos por PanelSystem, no están fabricados con yeso en su totalidad. Por lo que se establece también una comparativa con un hipotetico panel realizado con yeso solamente.

espesor 7cm	PANELSYSTEM	PANEL 100% YESO	PANEL YESO + TOALLITAS
Peso (Kg/m ²)	36,78	60,06	58,63
Densidad (Kg/m ³)	772	1260	1230

espesor 9cm	PANELSYSTEM	PANEL 100% YESO	PANEL YESO + TOALLITAS
Peso (Kg/m ²)	40,70	61,74	60,37
Densidad (Kg/m ³)	831	1260	1230

Tabla 17. Comparación pesos paneles

Podemos comprobar que el panel propuesto, realizado con yeso más un 2,5% de toallitas, es más pesado que el que se comercializa. No obstante, este tiene unos aditivos, fibras de celulosa y fibra de vidrio que reducen su peso y aumentan su resistencia.

Pero en cambio, si lo comparamos con un hipotético panel fabricado con yeso solamente, vemos como se produce una reducción de peso del 2%. Por lo que, nuestro panel tiene un peso intermedio, no tan ligero como los propuesto por PanelSystem, ni tan pesados si se hicieran con yeso únicamente.

Pero por otro lado, a pesar de que no se reduce peso con respecto al producto que se comercializa, vemos como el material utilizado (yeso, fibras de celulosa, fibras de vidrio) es menos resistente que el material investigado (yeso más 2,5% de toallitas).

Material	YESO PANELSYSTEM	YESO 100%	YESO + TOALLITAS
Resistencia a flexión (N/mm ²)	2.94	3.61	4.06
Resistencia a compresión (N/mm ²)	5.5	9.89	6.08

Tabla 18. Comparación resistencia materiales de fabricación.

Es tal el aumento de resistencia al utilizar yeso con agregado de toallitas (2,5%) que hace aumentar las capacidades resistiva un 18% con respecto al material utilizado por PanelSystem. En cuanto a compresión también se experimenta un aumento de las capacidades del material entorno al 10%. Todo ello, gracias al reciclaje de unos de los productos más contaminantes y que causa numerosos problemas en la redes de saneamiento de nuestras ciudades.

Tras comparar las propiedades que posee el material con el que esta fabricado los paneles que se comercializa, con nuestro material ecoeficiente, pasamos a comprobar las resistencias que presenta el panel, es decir, el producto ya finalizado. En este caso, esta comprobación no sería posible realizarla, ya que depende de otros ensayos, en los que interviene el propio diseño del producto. Para ello, nos tendríamos que remitir a la norma **UNE EN 12859:2012, Paneles de yeso. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo**, para poder comparar los datos de resistencia que tiene el panel comercializado con nuestro hipotético panel realizado con residuos de toallitas. Por lo que existiría una continuación del estudio sobre el comportamiento que presentaría ese hipotético panel con toallitas, con las mismas dimensiones y mismo diseño que el panel comercializado por PanelSystem. No obstante, si el material utilizado (yeso y toallitas) para fabricar estos nuevos paneles es más resistente que el utilizado actualmente en los paneles que se comercializan, manteniendo el mismo diseño, el producto finalizado tendría también una mayor resistencia.

De manera simultánea, esto ocurriría también a la hora determinar que absorción y/o aislamiento acústico presentarían estos nuevos paneles, remitiéndonos a la norma **UNE EN ISO 12354, Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos**. A los que se le suma los ensayos necesarios, para determinar su reacción al fuego o su dureza superficial, según **UNE EN 12859:2012**.

IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

No obstante, parece relevante, saber cuanta cantidad de toallitas húmedas estaríamos reciclando por panel, y así poder hacer escala del impacto medioambiental que tiene reutilizar dicho residuo.

Si mantenemos la proporción de aditivo, del 2,5%, podemos saber que si una probeta tiene un peso medio de 300g/probeta, estaríamos reutilizando 7,5g de toallitas/probeta. Si esto lo trasladamos a los dos hipotéticos paneles fabricados con este nuevo material, podemos encontrarnos aproximadamente 2Kg de toallitas por panel.

Paneles Yeso+Toallitas 2,5% (e=7cm)	Peso (Kg)	Reciclado de toallitas (Kg)
m ² de panel	58.63	1.47
Ud. panel	76.22	1.91 (≈2)

Paneles Yeso+Toallitas 2,5% (e=9cm)	Peso (Kg)	Reciclado de toallitas (Kg)
m ² de panel	60.37	1.51
Ud. panel	78.48	1.96 (≈2)

Tabla 19. Cálculo cantidad de residuos por panel.

Si hacemos escala, sabiendo que una toallita húmeda, para su uso, pesa 6g, y que en un envase toallitas húmedas viene un promedio de 72 unidades, estamos reciclando 4,5 paquetes de toallitas en un panel.

Otro de los aspectos destacable, sabiendo las dosificaciones de los aditivos (fibra de vidrio y celulosa) que presentan los paneles comercializados es cuantificar la cantidad de yeso que se ahorra. Sabemos, según datos del fabricante, que por cada 100Kg de yeso se utiliza 1,8kg de aditivo (1kg de fibra de vidrio y 0,8kg de celulosa) mientras que nosotros, estaríamos utilizando por cada 100kg de yeso, 2,5kg de aditivo (residuos de toallitas).

Esto implicaría un ahorro de producción de yeso donde estaríamos añadiendo más cantidad de aditivo, es decir, una doble ventaja, ya que reciclamos toallitas, y utilizamos menos cantidad de yeso de nueva fabricación. En concreto, una diferencia de 0,7kg por cada 100kg de yeso, con respecto al fabricante de paneles PanelSystem. A lo que se le añade la inutilización de las fibras de vidrios, de primera generación, como la celulosa en la fabricación del producto.

Por otro lado, si lo comparamos con otros sistemas constructivos, en este caso con un sistema tradicional de tabiquería de ladrillo hueco doble de espesor de 7cm o 9cm, sabiendo que tiene una densidad de 930 Kg/m³, según el *Catálogo de Elementos Constructivos* del Código Técnico de la Edificación,

	Tabique de ladrillo hueco doble (e=7cm)	PANEL YESO + TOALLITAS (e=7cm)	Tabique de ladrillo hueco doble (e=9cm)	PANEL YESO + TOALLITAS (e=9cm)
Peso (Kg/m ²)	65,10	58,63	83,70	60,27
Densidad (Kg/m ³)	930	1230	930	1230

Tabla 20. Comparación peso sistema tradicional.

Nos damos cuenta que el producto propuesto, realizado con nuestro compuesto de toallitas, tiene un peso/m² menor que este sistema tradicional, por lo que, estaríamos reduciendo peso estructural.

Esto a su vez se ve favorecido con la incorporación de un residuo de toallitas que aumenta las capacidades resistentes del producto, como una reducción en la fabricación de ladrillos cerámicos y con ello, todo su impacto medioambiental y coste energéticos que supone su fabricación [31]. A lo que se le suma una reducción del coste de mano de obra, consiguiendo mejores rendimientos en obra.

En cambio, si lo comparamos con otro tipo de sistema de tabiquería prefabricado, en este caso con un tabique autoportante de paneles de cartón-yeso, fabricado por "Knauf",

	Tabique autoportante de cartón-yeso (e=7cm)	PANEL YESO + TOALLITAS (e=7cm)	Tabique autoportante de cartón-yeso (e=9cm)	PANEL YESO + TOALLITAS (e=9cm)
Peso (Kg/m ²)	26,00	58,63	44,00	60,27
Densidad (Kg/m ³)	--	1230	--	1230

Tabla 21. Comparación de peso con otro sistema prefabricado

Comprobamos que estamos aumentando el peso/m² con nuestro producto propuesto. Sin embargo, nos estamos ahorrando la producción y puesta en montaje de todo el sistema de perfilería y tornillería que requiere un tabique autoportante de cartón-yeso. Asimismo, reduciendo el elevado consumo de energía y de materias primas que presenta esta compleja industria, como los residuos que esta genera (atmósfericos, aguas residuales, y residuos sólidos) como las repercusiones que esta tiene para la salud pública a la hora de producir una contaminación del aire. Prueba de ello, según datos de la Fundación Ellen MacArthur, es que en la producción de una tonelada de acero pueden llegar a generar 600kg de estos residuos. [32]



Desatascos de redes de saneamiento Berlín, Fuente: *Berliner Zeitung*, Gerd Engelsmann.

9. APLICACIÓN DEL PRODUCTO A UN CASO PRÁCTICO.

Es de gran interés poder ver este producto reflejado en un caso práctico de edificación. Para ello, se propone un proyecto académico de un edificio residencial en Jerez de la Frontera, situado en la antigua Fábrica de Botellas. Dicho edificio consta de 9 plantas, y 44 viviendas, de dos tipologías diferentes. 36 viviendas A, de 3 dormitorios y una superficie útil de 87m² y 8 viviendas B, de 4 dormitorios y una superficie útil de 132m².

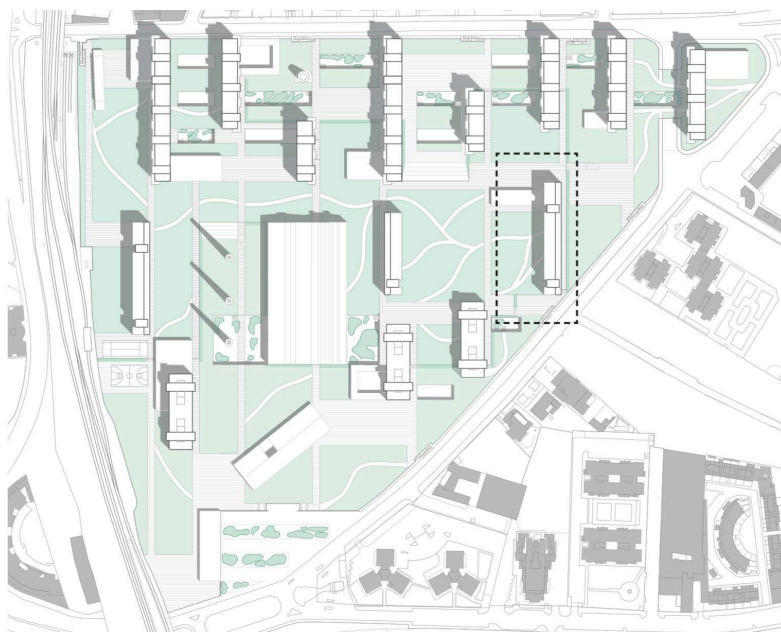


Fig 30. Situación de la edificación en la manzana.

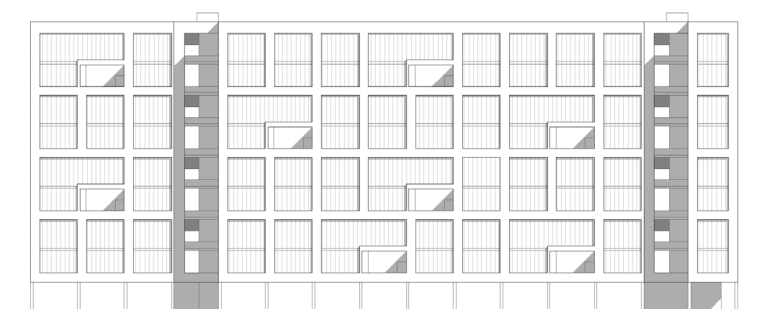


Fig 31. Alzado del bloque de viviendas plurifamiliares.



Fig 32. Planta tipo de la edificación.

Se propone incorporar el producto propuesto fabricado con yesos y un 2,5% de toallitas como elemento de partición interior. Para ello, primero se ha realizado una medición de cuantos m² de tabiquería habría por cada vivienda. En el caso de las viviendas A, tendríamos 55,84m²/viv y en el caso de las viviendas B, tendríamos 153,86m² de particiones interiores. A las que habría que sumar todas aquellas particiones que separan viviendas, en este caso un total de 1529,28m².

En dichas particiones, las que separan de una vivienda y otra, la solución constructiva sería diferente. En este caso, debería existir un aislamiento acústico que aislara las dos viviendas, quedando el aislante embutido entre los paneles.

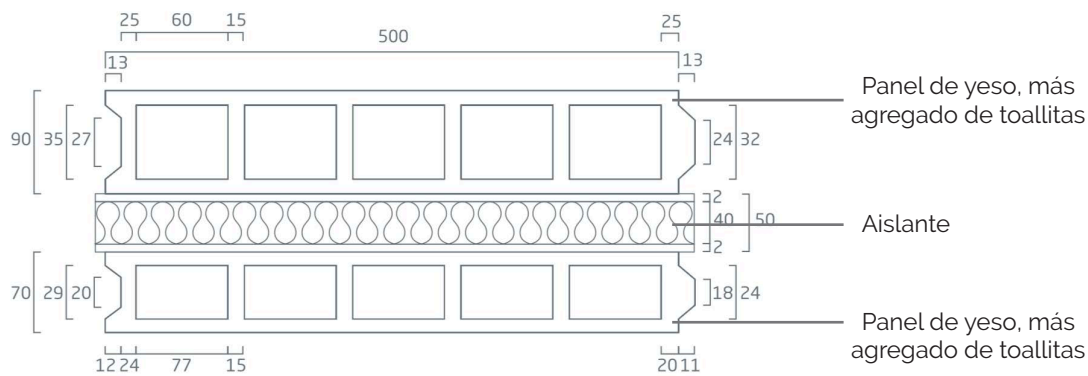


Fig 33. Partición de separación entre viviendas.



Fig 34. Perspectiva del tipo de partición.

Por tanto podemos encontrarnos dos soluciones constructivas, una compuesta por un panel de 7cm de espesor, que se localiza en aquellas particiones que separan diferentes estancias, y una partición interior compuesta por dos filas de paneles de 7cm para particiones entre viviendas.

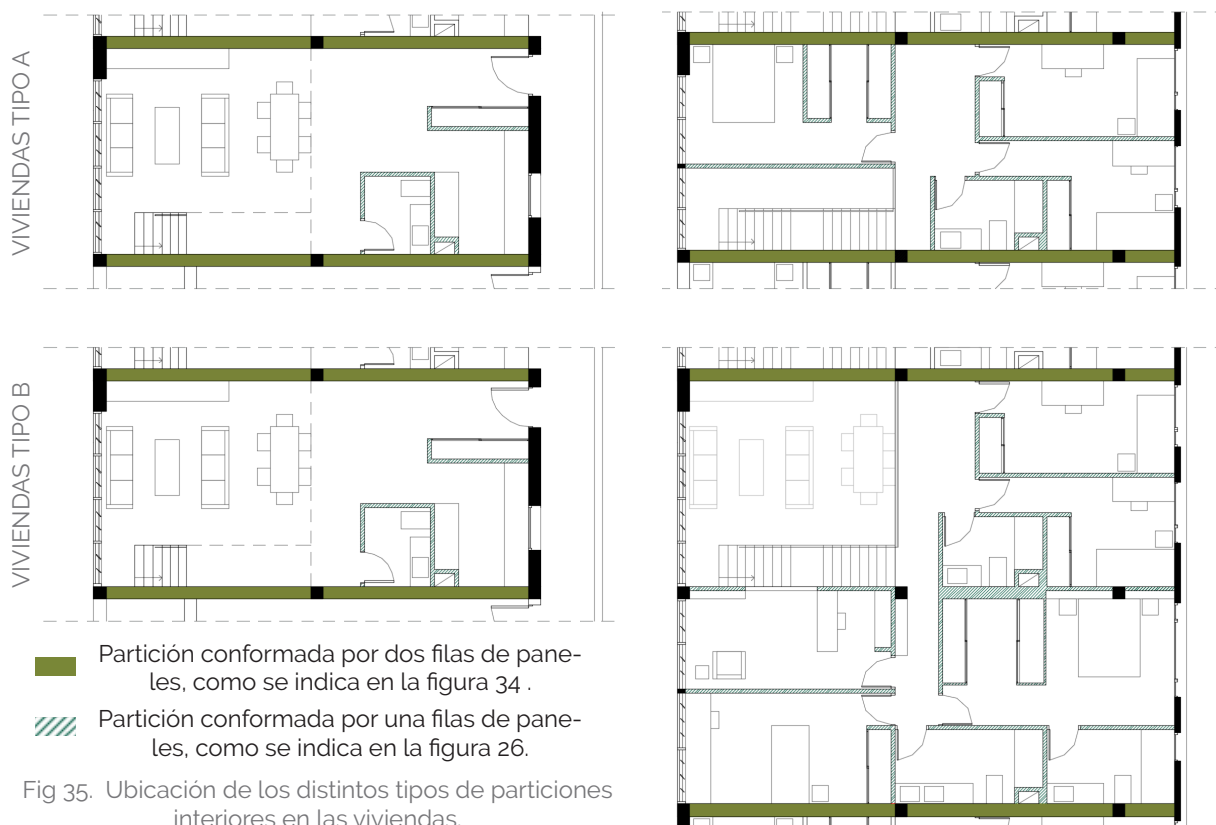


Fig 35. Ubicación de los distintos tipos de particiones interiores en las viviendas.

Sumando todos los m² de tabiquería tendríamos un total de 4770,4 m², lo que equivaldría a 3.670 paneles en total, sabiendo que un panel son 1,3 m².

PanelSystem	Superficie (m ²)	Nº de paneles	Peso (Kg)	Aditivos (Kg)
Panel 100% yeso	4770,4	3670	175.462,70	3158,32
Panel yeso + toallitas			286.553,60	--
			279.727,40	6993,19

Tabla 22. Cálculo comparativo pesos totales por tipo de panel y cantidad de aditivos.

Comprobamos que con el uso de los paneles propuestos aumentamos el peso que debería aguantar la estructura. No obstante, los paneles de referencia tienen aditivos como fibras de celulosa y fibras de vidrio que hace disminuir su peso. En cambio, nosotros logramos incorporar con nuestro producto propuesto 6993,19 Kg de toallitas, es decir, unas 7 toneladas de toallitas. Lo que equivaldría a darle otra vida, a más de la mitad de las 9 toneladas de toallitas encontradas en el fondo marino en Nerja [18] o al reciclaje de 1.165.532 toallitas, que sería aproximadamente 16.188 paquetes de toallitas.



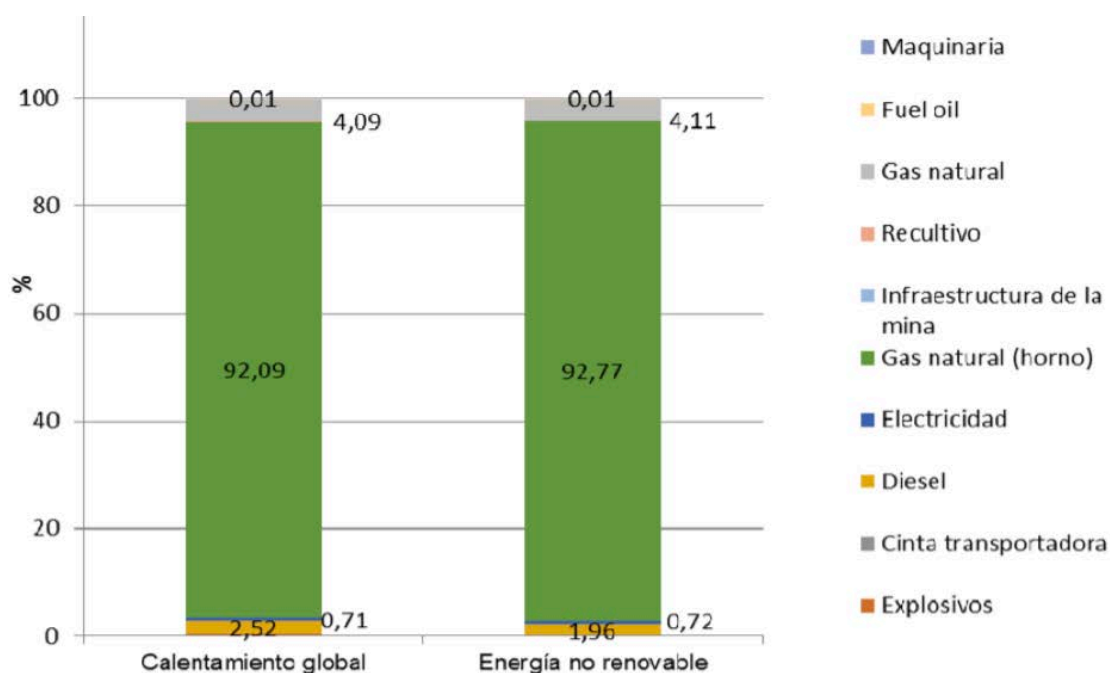
Fig 36. Madeja de toallitas recogidas en la red de saneamiento de Benidorm



10. DISCUSIÓN RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Como podemos observar, el compuesto de yeso y toallitas en forma de agregado (2,5%) presenta algunas ventajas frente a otros compuestos que se están comercializando actualmente. Se experimenta un **aumento de resistencia a flexión** del 18%, bastante interesante, ya que se aumenta a partir del uso de un residuo. Además, con un porcentaje de cantidad de toallitas, que llega a superar en cantidad a los aditivos que actualmente las empresas fabricantes vierten para aumentar sus capacidades. No obstante, incrementamos el peso de los paneles con respecto a los que se comercializa, pero se podría seguir investigando si a un mayor porcentaje de agregado de toallitas se da una reducción de peso, incluso un aumento de resistencia.

No nos podemos olvidar también, que al utilizar mayor cantidad de aditivo en el material de composición del producto estamos **reduciendo** en la utilización de **yeso** de primera generación. Y es que la fabricación de yeso, genera un gran impacto medioambiental. Sabemos que si reducimos en producción de yeso estamos **reduciendo** a su vez en la emisión de **gases efecto invernadero**. Gases que han contribuido actualmente a producir un deterioro de la capa de ozono, favoreciendo el cambio climático. Esto se traduce que para la producción de 1Kg de yeso se llegan a emitir 0,2Kg de CO₂ [33]. A su vez, la producción minera del yeso acarrea un gran impacto paisajístico, prueba de ello es que una de las etapas de producción de yeso consta de la restauración del entorno una vez sacado el mayor rendimiento a la mina. Para ello, nos remitimos al artículo elaborado por Sindy Sofía Suárez Silgado, de la Universidad Politécnica de Cataluña sobre la "Viabilidad ambiental del reciclaje del yeso" [34]. Donde se llega a estudiar de forma comparativa el proceso de obtención del yeso a partir de materia prima original y a partir de materia prima reciclada. No obstante, podemos observar gracias a las investigaciones realizadas en dicho artículo cuál es el proceso mas perjudicial para el medio ambiente.



Gráfica 34. Resultados de caracterización de la contribución de los procesos del yeso natural.

Vemos como el proceso de cocción con gas natural es el que tiene un mayor impacto, en las dos categorías de impacto, como consumo de una energía no renovable y como emisión de gases de efecto invernadero.



Fig 37. Mina de yeso a cielo abierto, cantera en Sorbas (Almería)

Si seguimos comparando con el producto de referencia, recordaremos que se está añadiendo aditivos como fibra de vidrio o celulosa en el proceso de fabricación del material. Aditivos que también tienen un gran impacto medioambiental.

En el caso de la fibra de vidrio, ocurre algo parecido al yeso, y es que su proceso de fabricación requiere un alto consumo energético para producirlos. Con lo que respecta a la celulosa, se produce un gran consumo de agua y de energía, que también genera una notable cantidad de residuos líquidos y sólidos. Si intentamos cuantificar estos gastos, veremos que se llega a consumir un consumo eléctrico de 1400 a 2500Kw/tonelada de celulosa, y de agua, alrededor de 20 a 200 m³/tonelada de celulosa [35]. A los que se le añade el consumo de productos químicos como cloro, para el blanqueamiento de las pastas de celulosa, en el caso de fabricar papel. No obstante, si se reciclará, también iría acompañado de un impacto medioambiental, ya que el proceso de eliminación de las tintas que puede llevar consigo la celulosa produce la contaminación de esas aguas que quedan totalmente inutilizadas al ser tóxicas.

En cambio, con el uso de las **toallitas**, estaríamos **reciclando** un residuo que actualmente no se sabe que hacer con él y con ello, fomentando una **economía circular**, y utilizando el residuo hasta el máximo de su vida útil. Parece un problema el posible tratamiento que estas deberían tener tras ser recogidas, ya que presentaría materia orgánica. Pero es todo lo contrario, a diferencia de la celulosa, el proceso de **tratamiento** del residuo es más **ecológico** ya que se trata de materia orgánica que acaba degradándose en una planta de tratamiento. Sin embargo, otra de las alternativas que se puede presentar para el tratamiento de este residuo, y así evitar los posibles problemas urbanos en las redes saneamientos y sus respectivos costes económicos de reparación, o que acaben en el fondo marino, es la **recogida selectiva** de este tipo de residuo doméstico.

Con respecto al **sistema constructivo propuesto** se ve incrementado su cualidades de resistencia a flexión y a compresión. A la que le acompaña una **reducción de materiales constructivos** con respecto otros sistemas constructivos anteriormente comentados. Este sistema podría abrir una nueva tendencia a lo que respecta a la construcción de particiones interiores. Si lo comparamos con un tabique formado por ladrillos cerámicos y mortero [figura 23], nos daremos cuenta que nos estamos ahorrando el coste energético que tiene la cocción de la arcilla de estos ladrillos. Si lo comparamos con un partición realizada con paneles de yeso laminado [figura 24] nos estaremos ahorrando los costes de producción y de consumo, por parte de toda la perfiles y tornillería necesaria para la fijación de los paneles.

No obstante, el reciclaje de este tipo de residuo, como son las toallitas abren **nuevos campos de investigación**. Entre los que podemos señalar los siguientes;

-La investigación sobre el comportamiento de las **toallitas** como **aislante acústico**. Es una línea en la que se podría estudiar cual es el índice global de reducción acústica (R), que hace caracterizar cualquier elemento constructivo ante estas solicitaciones. Esto sería una buena opción si dentro de esas particiones que separaban una vivienda de otra se pudiera incorporar como aislamiento las toallitas. [figura 24]. Así, estaríamos reutilizando más. No obstante, debido a una falta de tiempo, no se ha podido seguir investigando en dicho aspecto del cuál requiere un ensayo específico normalizado por la norma **UNE EN 12354: 2000** *Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos*. A lo que también se debería seguir investigando de como se podría conformar dicho material aislante y como disponerlo en obra. Dándose un tratamiento de manera semejante al que es llevado a cabo en las lanas minerales para conformar los paneles. Donde a partir del vertido de resinas, en las primeras y últimas fases de fabricación, se lleva a cabo la conglomeración de todas las fibras disueltas teniendo como resultado un panel con una rigidez aceptable [36]. Si esto tuviera buenos resultados implicaría una reducción de producción de nuevos materiales, por ejemplo, de lanas minerales, roca o vidrio. En este caso, se le sumaría una reducción de costes en la extracción y procesamiento de materias primas como de energía, a la que se le suma los transportes necesarios.

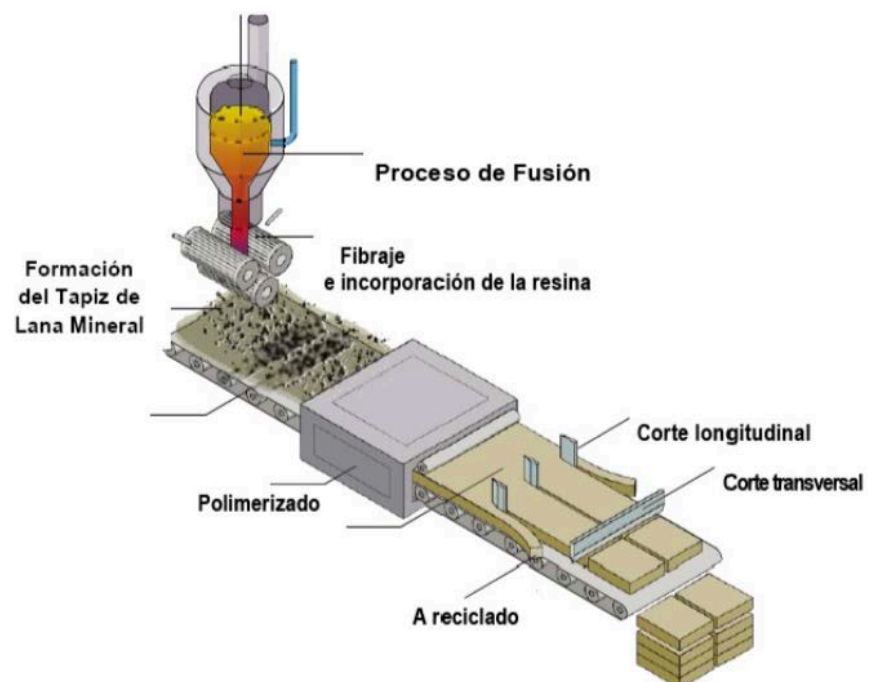


Fig 38. Etapas de producción de lanas minerales

La incorporación de dichas **fibras de polipropileno** obtenidas de las toallitas para su aplicación en **morteros de cemento**. Es otra nueva línea por investigar, ya que las investigaciones realizadas en este trabajo tratan como matriz conglomerante el yeso. Las fibras proporcionadas por las toallitas muestran una **buena adherencia** con respecto al material conglomerante, por lo que podría utilizarse como fibras en **morteros de revestimiento**, mejorando así la durabilidad del material y evitando fisuraciones. Donde también se le podría aplicar a **hormigones**, como hace Barreda, M.; Iani, C.; Sota, J. D. en su artículo sobre el "Hormigón reforzado con fibras de polipropileno: tramo experimental de un pavimento de hormigón" [37]. En el que se ensaya cuál es el comportamiento de este material para la posterior aplicación como producto de **pavimentación**. O Carlos Javier Mendoza, Carlos Aire y Paula Dávila que tras una investigación descubren que la incorporación de estas fibras produce una reducción del agrietamiento y un aumento de la resistencia frente a impacto [38]. No obstante, **actualmente** ya se **comercializa** con estas fibras ya que son conocidas por sus altas propiedades resistentes. Un ejemplo de ellos son las fibras comercializadas por "Sika" [39]



Fig 39. Fibras de polipropileno, "SikaFiber"



Por ende, reutilizar los residuos de toallitas tiene ventajas mediambientales, que hacen mitigar sus efectos. Descubriendo así, un residuo con altas cualidades resistentes donde se aprovecha el polipropileno de su composición. Por tanto, reciclar este tipo de residuo se convierte en la solución de problemas urbanos hasta ambientales, siendo una nueva alternativa que puede llevar a elaborar materiales y productos ecoeficiente.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] PlasticEurope; "**El plástico: una historia de más de 100 años de innovación.**" 2019. [Online]. <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history>. [24-Mar-2019]
- [2] PlasticEurope; "**Sobre los Plásticos.**" 2019. [Online]. <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>. [24-Mar-2019]
- [3] Ecoembes; "**La economía circular en España**" [Online]. <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/ecoembes-y-el-medio-ambiente/la-economia-circular-en-espana> [24-Mar-2019]
- [4] PlasticEurope; "**Bruselas 16 de enero de 2018. PlasticsEurope anuncia su compromiso voluntario para contribuir a una economía más circular y una mayor eficiencia en el uso de los recursos.**" <https://www.plasticseurope.org/es/newsroom/press-releases/bruselas-16-de-enero-de-2018-plasticseurope-anuncia-su-compromiso-voluntario-para-contribuir-una-economia-mas-circular-y-una-may> [24-Mar-2019]
- [5] PlasticEurope; "**Strategy on plastics**". [Online]. <https://www.plasticseurope.org/es/focus-areas/strategy-plastics> [24-Mar-2019]
- [6] Ecoembes; "**Tipos de plásticos según sus posibilidades de reciclado.**" [Online]. <https://ecoembesdudasreciclaje.es/tipos-de-plasticos-segun-sus-posibilidades-de-reciclado/> [24-Mar-2019]
- [7] PlasticEurope; "**Luchar sobre los desechos marinos**". [Online]. <https://www.plasticseurope.org/es/focus-areas/marine-litter> [31-Mar-2019]
- [8] Aimplas; "**Los proyectos de I+D+i en plástico desarrollados por AIMPLAS en 2015 generaron un retorno de más de 12 millones.**" 2018 [Online]. <https://www.aimplas.es/blog/los-proyectos-de-idi-en-plastico-desarrollados-por-aimplas-en-2015-generaron-un-retorno-de-mas-de-12-millones/> [24-Mar-2019]
- [9] PlasticEurope; "**El plástico en el sector de la edificación y construcción**" [Online]. <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/building-construction> [31-Mar-2019]
- [10] Mercedes del Río Merino, Paola Villoria Sáez, Iolanda Longobardi, Jaime Santa Cruz Astorqui, César Porras-Amores, 2019. "**Redesigning lightweight gypsum with mixes of polystyrene waste from construction and demolition waste**", Construction and Building Materials, vol. 220, pp 144-151.
- [11] Youcef Ghernouti, Bahia Rabehi, Tayeb Bouziani, Hicham Ghezraoui, Abdelhadi Makhoulfi, 2015. "**Fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing plastic bag waste fibers (WFSCC)**", Construction and Building Materials, vol. 82, pp 89-100.
- [12] M.A. Pedreño-Rojas, M.J. Morales-Conde, F. Pérez-Gálvez, P. Rubo-de-Hita, 2019. "**Influence of polycarbonate waste on gypsum composites: Mechanical and environmental study**", Construction and Building Materials, vol. 218, pp 21-37.
- [13] Efe Verde; "El mal uso de toallitas húmedas cuesta entre 4 y 6 euros por persona y año" [Online]. <https://www.efeverde.com/noticias/toallitas-humedas-mal-uso-contaminacion/> [31-Mar-2019]
- [14] 20 minutos; "**Una bola de toallitas higiénicas de casi un kilómetro de longitud atasca un colector de Valencia**". [Online]. <https://www.20minutos.es/noticia/3146567/0/toallitas-higienicas-atasco-colector-norte-valencia/> [24-Mar-2019]
- [15] El País; "**Las toallitas húmedas causan estragos en San Sebastián**". [Online]. https://elpais.com/politica/2017/09/20/diario_de_espana/1505931520_025191.html [27-Mar-2019]
- [16] Ecodiario; "**País vasco, tirar toallitas por el retrete le cuesta un millón de euros al erario público cada año**". [Online]. <https://ecodiario.eleconomista.es/espana/noticias/7381462/02/16/Pais-vasco-tirar-toallitas-por-el-retrete-le-cuesta-un-millon-de-euros-al-erario-publico-cada-ano.html> [27-Mar-2019]
- [17] Emasesa; "**Todo sobre las toallitas al cubo**" [Online]. <http://www.emasesa.com/clientes/campanas/lastoallitasalcubo/todo-sobre-las-toallitas-al-cubo/> [27-Mar-2019]

- [18] La Vanguardia "**La playa de Nerja acumula nueve toneladas de toallitas por vertidos de aguas residuales**" [Online]. <https://www.lavanguardia.com/local/sevilla/20190322/461171143495/pla-ya-nerja-toneladas-toallitas-vertido-aguas-residuales.html> [27-Mar-2019]
- [19] Hoang Nguyen, Paivo Kinnunen, Valter Carvelli, Mohammad Mastali, Mirja Illikainen, 2019. "**Strain hardening polypropylene fiber reinforced composite from hydrated ladle slag and gypsum**", Composites Part B, vol. 158, pp 328-338.
- [20] Alicia Oliver, 2012. "**Thermal characterization of gypsum boards with PCM included: Thermal energy storage in buildings through latent heat**", Energy and Buildings, vol. 48, pp 1-7.
- [21] P. Rubio-de-Hita, F. Pérez-Gálvez, M.J. Morales-Conde, M.A. Pedreño-Rojas, 2018. "**Reuse of plastic waste of mixed polypropylene as aggregate in mortars for the manufacture of pieces for restoring jack arch floors with timber beams**", Construction and Building Materials, vol. 198, pp 1515-1525.
- [22] L. Alameda, V. Calderón, C. Junco, A. Rodríguez, J. Gadea, S. Gutiérrez-González, 2016. "**Characterization of gypsum plasterboard with polyurethane foam waste reinforced with polypropylene fibers**", Materiales de Construcción, vol. 66, N°. 324, e100, ISSN-L 0465-2746.
- [23] Alfonso García Santos, 2009. "**Escayola reforzada con fibras de polipropileno y aligerada con perlas de poliestireno expandido**", Materiales de Construcción, vol. 59, N°. 293, pp 105-124, ISSN 0465-2746.
- [24] Mohamed Bentchikou, Amor Guidoum, Karen Scrivener, Kamel Silhadi, Salah Hanini, 2012. "**Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement compiste matrix**", Construction and Building Materials, vol. 34, pp 451-456.
- [25] Anna Czaderna, Aleksandra Kocemba, Marcin Kozanecki, Maria Mucha, Patrycja Mróz, 2018. "**The influence of cellulose derivates on water structure in gypsum**", Construction and Building Materials, vol. 160, pp 628-638.
- [26] **UNE EN-102402:2014**. Yesos y escayolas de construcción. Otros métodos de ensayo. <http://www.aenor.es/>. Normas UNE.AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).
- [27] **UNE EN-13279-2:2014**. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo. <http://www.aenor.es/>. Normas UNE. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).
- [28] **UNE-EN ISO 10534-1:2002**. Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria . <http://www.aenor.es/>. Normas UNE. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).
- [29] **UNE EN-13279-1:2009**. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones. <http://www.aenor.es/>. Normas UNE. AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación Aenor).
- [30] **UNE EN-196:2005**. Métodos de ensayos de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.
- [31] El País "**Lo que contamina un ladrillo**", Clemente Álvarez, 09 Julio 2010 [Online]. <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2010/07/lo-que-contamina-un-ladrillo.html> [14-Jun-2019]
- [32] Fundación Ellen MacArthur, Unlocking the circular potential of the steel industry. Ricardo Gomez Angel. [Online] <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/new-entry> [16-Jun-2019]
- [33] Claudi N. Quisque Gamboa, "**Análisis de la energía incorporada y emisiones de CO2 aplicado a viviendas unifamiliares de eficiencia energética**", Tesina Final de Máster, Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Septiembre de 2016.
- [34] Sindy Sofia Suárez Silgado, "**Viabilidad ambiental del reciclaje del yeso**", Universidad Politécnica de Cataluña, Congreso Nacional del Medio Ambiente, CONAMA 2014

- [35] Juan Moretton, "**El problema ambiental de los residuos en la elaboración de celulosa para papel**", Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica. [Online] <https://www.monografias.com/trabajos34/contaminacion-papeleras/contaminacion-papeleras.shtml> [14-Jun-2019]
- [36] ISOVER, Saint-Gobain, Declaración Ambiental de Producto, Panel Cubierta 100mm. Según la norma europea EN 15804 y conforme al Estándar Internacional ISO 14025. 1 diciembre 2013 [PDF]. <https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/panel-cubierta-175.pdf> [14-Jun-2019]
- [37] Barreda, M.; Iaiani, C.; Sota, J. D. "**Hormigón reforzado con fibras de polipropileno: tramo experimental de un pavimento de hormigón**". IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, 2000, p. 1145-1150.
- [38] Carlos Javier Mendoza, Carlos Aire y Paula Dávila, "**Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido**", Concreto y cemento. Investigación y desarrollo. vol. 1 no.2, México, junio 2011.
- [39] SikaFiber M-12, Fibras de polipropileno monofilamento para el refuerzo de hormigones y morteros, Sika, [PDF] <https://esp.sika.com/dms/getdocument.get/a2fe4809-d2fa.../SikaFiber%20M-12.pdf> [14-Jun-2019]
- [40] Marta Palomo Cano, "**Aislantes térmicos, Criterios de selección por requisitos energéticos**", Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 13 de junio de 2017 [PDF] http://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf [14-Jun-2019]
- [41] Paneles PanelSystem, [Online] <http://www.panelsystem.es/indexwp.php/> [14-Jun-2019]

12. ANEXO

FIGURAS

[Fig.1] Evolución de la tasa de reciclado en España. Ecoembes [PDF]. <https://www.ecoembes.com/es> [22-May-2019]

[Fig.2] PlasticEurope; "Plastics the Facts 2018." 2019. [PDF]. https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf. [24-Mar-2019]

[Fig.3] PlasticEurope; "Plastics the Facts 2018." 2019. [PDF]. https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf. [24-Mar-2019]

[Fig.4] Recogida de residuos en la playa Lagre I (Santander) [Online] Marnoba <https://vertidoscero.com/marnoba/>. [22-May-2019]

[Fig.5] Recogida de residuos en la playa Ciudad Jardín (Palma de Mallorca) [Online] Marnoba. <https://vertidoscero.com/marnoba/>. [22-May-2019]

[Fig.6] Probetas prismáticas tipo A y probetas cilíndricas tipo B. Elaboración propia.

[Fig.7] Materiales utilizados para la elaboración de las probetas. Elaboración propia.

[Fig.8] Fases para la realización de probetas. Caracterización-Mezcla%-Vertido-Fraguado

[Fig.9] Probetas A tipo Capa. Problema de estratificación. Elaboración propia.

[Fig.10] Probetas tipo A. Aditivo como Capas, Tiras y Agregado. Elaboración propia.

[Fig.11] Prensa multiensayo. Elaboración propia.

[Fig.12] Probetas tipo A. Elaboración propia.

[Fig.13] Probetas cilíndricas tipo B y portamuestras. Elaboración propia.

[Fig.14] Instrumentos para ensayo acústico "Tubo de Kundt". Elaboración propia.

[Fig.15] Disposición toallitas en muestras del tipo PMTC.. Elaboración propia.

[Fig.16] Probeta PMTC/1 tras ensayo de flexión. Elaboración propia.

[Fig.17] Probeta PMTC/2 tras ensayo de flexión. Elaboración propia.

[Fig.18] Probeta PMTC/3 tras ensayo de flexión. Elaboración propia.

[Fig.19] Probeta PMYTT/0,5 tras ensayo de flexión. Elaboración propia.

[Fig.20] Probeta PMYTT/2 tras ensayo de flexión. Elaboración propia.

[Fig.21] Probeta PMYTT/5 tras ensayo de flexión. Elaboración propia.

[Fig.22] Probeta PMTA/2,5 tras ensayo de flexión. Elaboración propia.

[Fig.23] Tabiquerías realizadas con ladrillos cerámicos. Elaboración propia.

[Fig.24] Tabiquerías realizadas paneles de cartón-yeso. Elaboración propia.

[Fig.25] Tabiquerías realizadas con paneles de yeso. Elaboración propia.

[Fig.26] Paneles de yeso, PanelSystem. Paneles **PanelSystem**, [Online] <http://www.panelssystem.es/indexwp.php/> [14-Jun-2019]

[Fig.27] Instalación paneles PanelSystem. Paneles **PanelSystem**, [Online] <http://www.panelssystem.es/indexwp.php/> [14-Jun-2019]

[Fig.28] Paneles PanelSystem TC-7, espesor 7cm. Paneles **PanelSystem**, [Online] <http://www.panelssystem.es/indexwp.php/> [14-Jun-2019]

[Fig.29] Paneles PanelSystem TC-7, espesor 7cm. Paneles **PanelSystem**, [Online] <http://www.panelssystem.es/indexwp.php/> [14-Jun-2019]

[Fig.30] Situación de la edificación en la manzana. Elaboración propia.

[Fig.31] Alzado del bloque de viviendas plurifamiliares. Elaboración propia.

[Fig.32] Planta tipo de la edificación. Elaboración propia.

[Fig.33] Partición de separación entre viviendas. Paneles **PanelSystem**, [Online] <http://www.panelssystem.es/indexwp.php/> [14-Jun-2019]

[Fig.34] Perspectiva del tipo de partición. Paneles **PanelSystem**, [Online] <http://www.panelssystem.es/indexwp.php/> [14-Jun-2019]

[Fig.35] Ubicación de los distintos tipos de particiones interiores en las viviendas. Elaboración propia.

[Fig.36] Madeja de toallitas recogidas en la red de saneamiento de Benidorm. Información, [Online] <https://www.ecoticias.com/sostenibilidad/88989/noticia-medio-ambiente-Almeria-polemica-cantera-Sorbas>

[Fig.37] Mina de yeso a cielo abierto, cantera en Sorbas (Almería). Econoticias. [Online] <https://www.ecoticias.com/sostenibilidad/88989/noticia-medio-ambiente-Almeria-polemica-cantera-Sorbas>

[Fig.38] Etapas de producción de lanas minerales. ISOVER, Saint-Gobain, Declaración Ambiental de Producto [PDF]

[Fig.39] Fibras de polipropileno, "SikaFiber". **SikaFiber M-12**, Fibras de polipropileno monofilamento para el refuerzo de hormigones y morteros, Sika, [PDF]

GRÁFICAS

- [Gráfica.1] Relación entre densidad / % de aditivo en tiras. Elaboración propia.
- [Gráfica.2] Relación inicial entre densidad / resist. a flexión (Referencia). Elaboración propia.
- [Gráfica.3] Relación entre densidad / resist. a flexión (Referencia). Elaboración propia.
- [Gráfica.4] Relación entre densidad / resist. a flexión (PMTc/1). Elaboración propia.
- [Gráfica.5] Relación entre densidad / resist. a flexión (PMTc/2). Elaboración propia.
- [Gráfica.6] Relación entre densidad / resist. a flexión (PMTc/3). Elaboración propia.
- [Gráfica.7] Relación entre densidad / resist. a flexión (PMYTT/0,5). Elaboración propia.
- [Gráfica.8] Relación entre densidad / resist. a flexión (PMYTT/2). Elaboración propia.
- [Gráfica.9] Relación entre densidad / resist. a flexión (PMYTT/5). Elaboración propia.
- [Gráfica.10] Relación entre densidad / resist. a flexión (PMTA/2,5). Elaboración propia.
- [Gráfica.11] Relación entre densidad / resist. a compresión A (Referencia). Elaboración propia.
- [Gráfica.12] Relación original entre densidad / resist. a compresión A (Referencia). Elaboración propia.
- [Gráfica.13] Relación entre densidad / resist. a compresión B (Referencia). Elaboración propia.
- [Gráfica.14] Relación original entre densidad / resist. a compresión B (Referencia). Elaboración propia.
- [Gráfica.15] Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMTc/1). Elaboración propia.
- [Gráfica.16] Relación entre densidad / resist. a compresión (PMTc/1). Elaboración propia.
- [Gráfica.17] Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMTc/2). Elaboración propia.
- [Gráfica.18] Relación entre densidad / resist. a compresión (PMTc/2). Elaboración propia.
- [Gráfica.19] Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMTc/3). Elaboración propia.
- [Gráfica.20] Relación entre densidad / resist. a compresión (PMTc/3). Elaboración propia.
- [Gráfica.21] Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMYTT/0,5). Elaboración propia.
- [Gráfica.22] Relación entre densidad / resist. a compresión (PMYTT/0,5). Elaboración propia.
- [Gráfica.23] Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMYTT/2). Elaboración propia.
- [Gráfica.24] Relación entre densidad / resist. a compresión (PMYTT/2). Elaboración propia.
- [Gráfica.25] Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMYTT/5). Elaboración propia.
- [Gráfica.26] Relación entre densidad / resist. a compresión (PMYTT/5). Elaboración propia.
- [Gráfica.27] Relación resist. a compresión A / resist. a compresión B (PMTA/2,5). Elaboración propia.

[Gráfica.28] Relación entre densidad / resist. a compresión (PMTA/2,5). Elaboración propia.

[Gráfica.29] Relación entre coeficiente de absorción / frecuencias (Hz) (REFERENCIA). Elaboración propia.

[Gráfica.30] Relación entre coeficiente de absorción / frecuencias (Hz) (PATC-1). Elaboración propia.

[Gráfica.31] Relación entre coeficiente de absorción / frecuencias (Hz) (PATC-2). Elaboración propia.

[Gráfica.32] Relación entre coeficiente de absorción / frecuencias (Hz) (PATR). Elaboración propia.

[Gráfica.33] Comparativa entre coeficientes de absorción / frecuencias (Hz). Elaboración propia.

[Gráfica.34] Resultados de caracterización de la contribución de los procesos del yeso natural. Sindy Sofía Suárez Silgado, "**Viabilidad ambiental del reciclaje del yeso**", Universidad Politécnica de Cataluña, Congreso Nacional del Medio Ambiente, CONAMA 2014 [PDF]

TABLAS

[Tabla.01] Porcentajes y pesos de los materiales de las probetas tipo A. Elaboración propia.

[Tabla.02] Resultados ensayo densidad aparente. Elaboración propia.

[Tabla.03] Valores medios de densidades aparente y pesos. Elaboración propia.

[Tabla.04] Resultados ensayo comportamiento mecánico, flexión. Elaboración propia.

[Tabla.05] Media de los resultados de ensayo comportamiento a flexión. Elaboración propia.

[Tabla.06] Resultados ensayo comportamiento mecánico, compresión. Elaboración propia.

[Tabla.07] Media de los resultados de ensayo comportamiento a compresión. Elaboración propia.

[Tabla.08] Resistencias a compresión PMTC/1. Elaboración propia.

[Tabla.09] Resistencias a compresión PMTC/2. Elaboración propia.

[Tabla.10] Resistencias a compresión PMTC/3. Elaboración propia.

[Tabla.11] Resistencias a compresión PMYTT/0,5. Elaboración propia.

[Tabla.12] Resistencias a compresión PMYTT/2. Elaboración propia.

[Tabla.13] Resistencias a compresión PMYTT/5. Elaboración propia.

[Tabla.14] Resistencias a compresión PMTA/2,5. Elaboración propia.

[Tabla.15] Resultado de los coeficientes de absorción acústica. Elaboración propia.

[Tabla.16] Características paneles PanelSystem. Elaboración propia.

[Tabla.17] Comparación pesos paneles. Elaboración propia.

[Tabla.18] Comparación resistencia materiales de fabricación.. Elaboración propia.

[Tabla.19] Cálculo cantidad de residuos por panel. Elaboración propia.

[Tabla.20] Comparación de peso con otro sistema prefabricado. Elaboración propia.

[Tabla.21] Comparación de peso con otro sistema prefabricado. Elaboración propia.

[Tabla.22] Cálculo comparativo pesos totales por tipo de panel y cantidad de aditivos. Elaboración propia.

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA



INSTITUTO DE CIENCIAS
DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA
C/ Serrano Galvache nº 4. 28033 Madrid
Tel (+34) 91 3020440 Fax (+34) 91 3020700
e-mail: dit@ietcc.csic.es
<http://www.ietcc.csic.es>



DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA Nº 378R/16

Área genérica / Uso previsto:

**SISTEMA DE TABIQUERÍA
CON PANELES DE YESO CON
FIBRA DE VIDRIO**

Nombre comercial:

PANELSYSTEM

Beneficiario:

TABIQUERÍA ESPECIALIZADA S.L.

Sede Social:

Cº de la Vega, s/n
19160 CHILOECHES (Guadalajara). España
Tlf. (+34) 902 431 566 Fax: (+34) 949 27 13 56
<http://www.panelsystem.com>

Lugar de fabricación:

Cº de la Vega, s/n
19160 CHILOECHES (Guadalajara). España

Validez. Desde:
Hasta:

30 de noviembre de 2016
30 de noviembre de 2021
(Condicionada a seguimiento anual)

Este Documento consta de 36 páginas



MIEMBRO DE:

UNIÓN EUROPEA PARA LA EVALUACIÓN DE LA IDONEIDAD TÉCNICA
UNION EUROPEENNE POUR L'AGREMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION
EUROPEAN UNION OF AGREEMENT
EUROPÄISCHE UNION FÜR DAS AGREEMENT IN BAUWESEN

MUY IMPORTANTE

El DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA constituye, por definición, una apreciación técnica favorable por parte del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, de la aptitud de empleo en construcción de materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales destinados a un uso determinado y específico. No tiene, por sí mismo, ningún efecto administrativo, ni representa autorización de uso, ni garantía.

Antes de utilizar el material, sistema o procedimiento al que se refiere, es preciso el conocimiento íntegro del Documento, por lo que éste deberá ser suministrado, por el titular del mismo, en su totalidad.

La modificación de las características de los productos o el no respetar las condiciones de utilización, así como las observaciones de la Comisión de Expertos, invalida la presente evaluación técnica.

C.D.U.: 692.25
Tabiques. Particiones
Cloison
Internal Partition System

DECISIÓN NÚM 378R/16

LA DIRECTORA DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA,

- en virtud del Decreto nº 3.652/1963, de 26 de diciembre, de la Presidencia del Gobierno, por el que se faculta al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja para extender el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA de los materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales de construcción utilizados en la edificación y obras públicas, y de la Orden nº 1.265/1988, de 23 de diciembre, del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno por la que se regula su concesión,
- considerando el artículo 5.2, apartado 5, del Código Técnico de la Edificación (en adelante CTE), sobre conformidad con el CTE de los productos, equipos y sistemas innovadores, que establece que un sistema constructivo es conforme con el CTE si dispone de una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto,
- considerando la solicitud formulada por la empresa TABIQUERÍA ESPECIALIZADA S.L., para la renovación del Documento de Idoneidad Técnica nº 378R/08 del Sistema de tabiquería de paneles de yeso con fibra de vidrio PANELSYSTEM, así como la ampliación de dos nuevas soluciones de medianería y adecuación al DB-HR y al DB-HE,
- considerando las especificaciones establecidas en el Reglamento para el Seguimiento del Documento de Idoneidad Técnica del 28 de octubre de 1998,
- en virtud de los vigentes Estatutos de l'Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (U.E.A.t.c.),
- teniendo en cuenta los informes LA-06.003 y LA-08.006 del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), los informes AC3-D5-10-II, AC3-D8-09-I, AC3-D10-09-III, AC3-D2-11-II, AC3-D5-12-XII del Instituto de Acústica y Centro de Tecnologías Físicas L. Torres Quevedo, los informes 0920Y68/1, 0920Y75P/2, 0920Y17S/3 del Laboratorio Eusko Jaurlaritza (Universidad del País Vasco), los Informes de ensayos del IETcc: 335/06, 103/03 y 19969-I; y los Informes de Seguimiento anual realizados al DIT 378R/08 y al DIT 378R/11, así como las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos, en sesiones celebradas los días 20 de diciembre de 2001, 11 de julio de 2006, 2 de octubre de 2008, 24 de marzo de 2011 y 25 de noviembre de 2016

DECIDE:

Conceder el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA número 378R/16, al **Sistema de tabiquería con paneles de yeso con fibra de vidrio PANELSYSTEM**, considerando que,

La evaluación técnica realizada permite concluir que el Sistema es **CONFORME CON EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN**, siempre que se respete el contenido completo del presente documento y en particular las siguientes condiciones:

CONDICIONES GENERALES

El presente DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA avala exclusivamente el Sistema propuesto por el peticionario, tal y como queda descrito en el presente documento, debiendo para cada caso de acuerdo con la Normativa vigente, acompañarse del preceptivo Proyecto Técnico y llevarse a cabo mediante la dirección de obra correspondiente. Será el Proyecto de Edificación el que contemple en cada caso, las acciones que el sistema transmite a la estructura general del edificio, asegurando que éstas son admisibles. El beneficiario proporcionará la asistencia técnica general sobre el sistema de modo que permita la suficiente definición para su ejecución, incluyendo toda la información necesaria de cada uno de los componentes. En general se tendrán en cuenta, tanto en el proyecto como en la ejecución de la obra, las prescripciones contenidas en la legislación vigente, en particular en el Código Técnico de la Edificación.

CONDICIONES DE FABRICACIÓN Y CONTROL

El fabricante deberá mantener el autocontrol que en la actualidad realiza sobre las materias primas, el proceso de fabricación y el producto acabado, conforme a las indicaciones que se dan en el apartado 5 del presente documento.

CONDICIONES DE UTILIZACIÓN Y PUESTA EN OBRA

La puesta en obra del Sistema debe realizarse bajo el control y la asistencia técnica del fabricante, por empresas cualificadas y autorizadas por éste; las cuales asegurarán que la utilización del Sistema se adecua a las condiciones y campos de aplicación cubiertos por el presente Documento, y respetando las Observaciones de la Comisión de Expertos.

Se adoptarán todas las disposiciones relacionadas con la estabilidad de la instalación con la aprobación del Director de obra, y en general, se tendrán en cuenta las disposiciones contenidas en los reglamentos vigentes de Seguridad y Salud Laboral, así como lo especificado en el Plan de Seguridad y Salud de la obra.

VALIDEZ

El presente DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA 378R/16 anula y sustituye al número 378R/11 y es válido durante un período de cinco años a condición de:

- que el fabricante no modifique ninguna de las características del producto indicadas en el presente Documento de Idoneidad Técnica,
- que el fabricante realice un autocontrol sistemático de la producción tal y como se indica en el Informe Técnico,
- que anualmente se realice un seguimiento de acuerdo con el Documento que constate el cumplimiento de las condiciones anteriores.

Con el resultado favorable del seguimiento, el IETcc emitirá anualmente un certificado que deberá acompañar al DIT, para darle validez,

Este Documento deberá, por tanto, renovarse antes del 30 de noviembre de 2021.

Madrid, a 30 de noviembre de 2016

LA DIRECTORA DEL INSTITUTO DE CIENCIAS
DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA



Marta María Castellote Armero.

INFORME TÉCNICO**1. OBJETO**

Sistema de tabiquería o particiones de Paneles de Yeso PANELSYSTEM reforzados con fibra de vidrio y celulosa de papel.

2. PRINCIPIO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Tabiquería industrializada de altura variable hasta 2,92 m y con solución específica para alturas de 4,60 m, compuesta por paneles aligerados de yeso reforzados con fibra de vidrio y celulosa de papel, para utilización en trasdosados de fachadas y distribuciones interiores de edificios.

Los paneles PANELSYSTEM se fabrican en dos espesores 7 y 9 cm, con una anchura de 50 cm (ver figuras 1 y 2).

Los paneles tienen forma paralelepípedica con un machihembrado en los cantos laterales para conseguir el ensamblado de los mismos.

La sección transversal presenta una serie de orificios rectangulares (alveolos) en toda la longitud del panel, que a la vez que disminuyen el peso del elemento, pueden ser utilizados para incorporar instalaciones.

3. MATERIALES Y COMPONENTES

Los componentes utilizados en la fabricación de los paneles son: yeso, agua, fibra de vidrio y celulosa de papel.

El yeso utilizado es del tipo "A", "Conglomerante a base de yeso para la construcción", conforme a la Norma EN 13279-1:2005.

La fibra de vidrio es de tipo "E" con una longitud que varía entre los 6 y 30 milímetros, y se incorpora a la masa en una proporción determinada de 1 kg por 100 kg de yeso. La fibra de celulosa se incorpora a la masa en una proporción de 0,8 kg por 100 kg de yeso.

El ensamblado de los paneles se realiza utilizando pegamentos constituidos básicamente de yeso y aditivos sintéticos. Este pegamento se presenta en envases de papel y debe ser mezclado con agua para su uso en obra. La proporción de la mezcla en relación al agua será del 70 % al 80 %.

3.1 Características técnicas**3.1.1 Materias primas****- Características químicas**

	Yeso	Pegamento
Contenido en sulfato cálcico hemihidrato	> 90 %	> 60 %
Índice de pureza en SO ₃	> 50 %	> 35 %

Determinados según EN 13279-2:2005

- Características mecánicas

Yeso		Pegamento	
Flexotracción MPa	Compresión MPa	Flexotracción MPa	Compresión MPa
≥ 2,0	≥ 6,0	≥ 1,0	≥ 3,0

Determinados según EN 13279-2:2005

- Tiempo de fraguado

	Pegamento (1)
Inicial	2 h 30 min. ± 10 min.
Final	4 h ± 10 min.

(1) Según EN 13279-2:2005

3.1.2 Mortero de yeso**- Características mecánicas**

Flexotracción MPa	Compresión MPa
≥ 1	≥ 2

3.1.3 Producto terminado**- Características dimensionales y pesos**

	Panel 7 cm	Panel 9 cm
Longitud (mm)	2.350 – 2.920 ± 5	
Anchura (mm)	500 ± 5	
Espesor (mm)	70 ± 1	90 ± 1
Escuadría (mm)	1 - 4,5	1 - 3,5
Planeidad	1 ± 0,5	0,75 ± 0,5
Peso kg/m ² (humedad entre 8 y 11 %)	≥ 36,00	≥ 40,00
Ensayo a flexión * (kN)	≥ 0,50	≥ 0,70

* Ensayo a flexión y luz entre apoyos de 2,10 m.

3.1.3.1 Dureza Shore

El índice de dureza Shore C está comprendido entre 55 y 70 para las dos dimensiones.

3.1.3.2 Aislamiento acústico

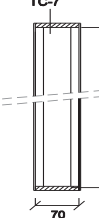
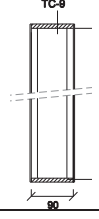
Tabla 1			
Tabiquería: Elementos de distribución interior de una unidad de uso. (Por ejemplo, tabiquería interior de una vivienda).			
Tipo de tabiquería	Descripción	m kg/m ²	R _A dBA
	TC-7 Panel industrializado de yeso de 7 cm de espesor reforzado con fibra de vidrio. En las uniones de los paneles con los forjados superiores u otros elementos se interpone una banda elástica de poliestireno expandido de 1 cm de espesor como mínimo. En la unión con el forjado inferior se coloca un producto bicapa formado por membrana autoadhesiva de alta densidad y un polietileno reticulado termosoldado de 3,35 kg/m ² de peso y 5 mm de espesor mínimo.	36	35
	TC-9 Panel industrializado de yeso de 9 cm de espesor reforzado con fibra de vidrio. En las uniones de los paneles con los forjados superiores u otros elementos se interpone una banda elástica de poliestireno expandido de 1 cm de espesor como mínimo. En la unión con el forjado inferior se coloca un producto bicapa formado por membrana autoadhesiva de alta densidad y un polietileno reticulado termosoldado de 3,35 kg/m ² de peso y 5 mm de espesor mínimo.	40	35

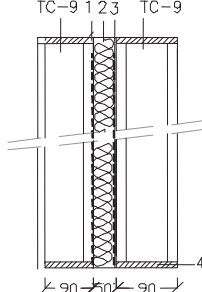
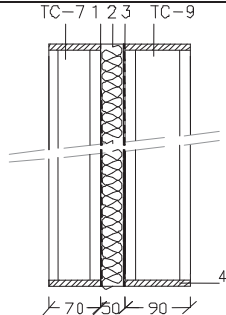
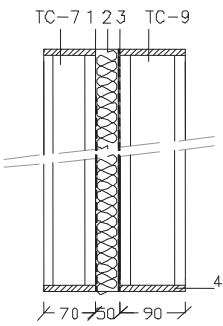
Tabla 2			
Elementos de separación verticales entre unidades de uso diferentes o entre una unidad de uso y una zona común. D_{nT,A} ≥ 50 dBA⁽¹⁾ (Por ejemplo: elementos de separación entre aulas, viviendas o habitaciones de hospital o de un hotel o de éstos espacios y zonas comunes)			
Esquema	Descripción	m kg/m ²	R _A dBA
	TC9+LA2+LM40+LA2+TC9⁽²⁾ Partición de dos hojas de paneles de yeso reforzados con fibras de 90 mm TC-9 separadas por una cámara de 50 mm de espesor, en la que se colocan dos láminas de tela asfáltica de 2 mm y 1,9 kg/m ² separadas por una capa de lana mineral de 40 mm y 50 kg/m ² . En las uniones de los paneles con los forjados u otros elementos constructivos (pilares, fachadas, etc.) se interponen bandas de 10 mm de poliestireno elastificado.	90	58,3
	TC7+LA2+LM40+LA2+TC9⁽²⁾ Partición de dos hojas de paneles de yeso reforzados con fibras: una hoja de 70 mm TC-7 y otra de 90 mm TC-9 separadas por una cámara de 50 mm de espesor en la que se colocan dos láminas de tela asfáltica de 2 mm y 1,9 kg/m ² separadas por una capa de lana mineral de 40 mm y 50 kg/m ² . En las uniones de los paneles con los forjados u otros elementos constructivos (pilares, fachadas...etc.) se interponen bandas de 15 mm de poliestireno elastificado salvo en el suelo, donde se coloca un producto bicapa formado por membrana autoadhesiva de alta densidad y un polietileno reticulado termosoldado, de 3,35 kg/m ² de peso y 5 mm de espesor mínimo.	81,8	61,1
TC-7: PANELSYSTEM		TC-9: PANELSYSTEM	
1: Lámina asfáltica de 2 mm y 1,9 kg/m ²		3: Lámina asfáltica de 2 mm y 1,9 kg/m ²	
2: Lana mineral de 40 mm y 50 kg/m ³		4: Producto bicapa con membrana autoadhesiva alta densidad y polietileno reticulado 3,35 kg/m ² de peso y espesor mínimo de 5 mm	

Tabla 2 (Continuación)			
Esquema	Descripción	m kg/m ²	R _A dBA
	<p>TC7+MA2+LM40+MA2+TC9⁽²⁾</p> <p>Partición de dos hojas de paneles de yeso reforzados con fibras: una hoja de 70 mm TC-7 y otra de 90 mm TC-9 separadas por una cámara de 50 mm de espesor en la que se colocan dos membranas acústicas de 2 mm y 3,25 kg/m² separadas por una capa de lana mineral de 40 mm y 50 kg/m³.</p> <p>En las uniones de los paneles con los forjados u otros elementos constructivos (pilares, fachadas...etc.) se interponen bandas de 15 mm de poliestireno elastificado salvo en el suelo, donde se coloca un producto bicapa formado por membrana autoadhesiva de alta densidad y un polietileno reticulado termosoldado, de 3,35 kg/m² de peso y 5 mm de espesor.</p>	84,5	63,2
TC-7: PANELSYSTEM	TC-9: PANELSYSTEM		
1: Membrana acústica de 2 mm y 3,25 kg/m ²	3: Membrana acústica de 2 mm y 3,25 kg/m ²		
2: Lana mineral de 40 mm y 50 kg/m ³	4: Producto bicapa con membrana autoadhesiva alta densidad y polietileno reticulado de peso 3,35 kg/m ² de peso y espesor mínimo de 5 mm		

⁽¹⁾ Se verifica que estas particiones cumplen con el aislamiento acústico exigido, si los forjados cumplen las exigencias de aislamiento acústico del DB HR.

Los valores de aislamiento acústico de este tipo de particiones de dos hojas son sensibles a las variaciones del material introducido en la cámara. De tal forma que el aislamiento acústico indicado se verifica sólo para particiones que tienen el mismo material en la cámara. Se verifica que, de todas estas soluciones, la última cumple las exigencias de la opción simplificada para Elemento de Separación Vertical (ESV) -según el glosario de términos del Anejo A del CTE DB HR- entre recintos protegidos y recintos de instalaciones o actividad.

⁽²⁾ Con objeto de limitar la transmisión por flancos, en el caso de que esta solución acometa a una fachada de una sola hoja, una fachada ventilada o una fachada con el aislamiento por el exterior, la hoja de fachada debe tener una masa por unidad de superficie mayor que 225 kg/m² y un índice de reducción acústica ponderado A, R_A, mayor o igual que 50 dBA.

3.1.3.3 Aislamiento térmico

Conductividad térmica λ W / m K	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua μ	Calor específico c_p J / kg K
0,22	4	1000

(*) Para el cálculo de la transmitancia térmica del elemento de partición se ha considerado como resistencia térmica superficial interior el valor de $R_{si}=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$, en consonancia a como se suministran estas propiedades en el Catálogo de Elementos constructivos publicado por el IETcc con la colaboración de CEPCO y AICIA.

	Resistencia térmica R $\text{m}^2\text{K} / \text{W}$	Transmitancia térmica (*) U $\text{W} / \text{m}^2 \text{K}$
Panel TC-7	0,330	1,695
Panel TC-9	0,405	1,503
Solución de medianería TC7+LA+LM+LA+TC9	$0,735 + R_{AT}$	$1/(0,995 + R_{AT})$
Solución de medianería TC7+MA+LM+MA+TC9	$0,735 + R_{AT}$	$1/(0,995 + R_{AT})$
Solución de medianería TC9+LA+LM+LA+TC9	$0,810 + R_{AT}$	$1/(1,07 + R_{AT})$

En el Anejo 1 a este DIT, se dan diferentes valores de U para las composiciones más corrientes de formación de fachadas, de forma similar a la incluida en el Catálogo del CTE.

Para el cálculo de puentes térmicos, pueden seguirse totalmente los valores suministrados en el citado Catálogo, habiendo resultado equivalente por cálculo realizado en el IETcc, el panel TC-7 a la hoja de fábrica analizada que se indica en el mismo. Esta equivalencia es válida para todos los apartados citados en el catálogo: Pilar, jamba, dintel, alfeizar, caja de persiana y encuentros.

4. FABRICACIÓN

El yeso es recibido en fábrica mediante camiones cisterna de uso exclusivo.

Una vez comprobadas las características del yeso pasa a almacenarse a los silos, de donde cae a las batidoras por medio de un dosificador automático. Efectuada la mezcla de yeso y agua (medidor electrónico) y vertidas las fibras de vidrio y celulosa en la cuba mezcladora, se bate mediante dos ejes provistos de dos aspas cada uno. La pasta conseguida se vierte en los moldes automáticamente. Realizado el fraguado se procede al desmoldeo de los paneles mediante un sistema hidráulico para, posteriormente y mediante pinzas y ventosas neumáticas, retirarlos a las estanterías de secado.

Finalmente, una vez secos los paneles, se procede al empaquetado que se efectúa mediante plástico retráctil o estirable para que no sufran daño durante el transporte y recepción en la obra.

5. CONTROLES

Todos los controles que se indican a continuación se realizan en el laboratorio existente en fábrica.

5.1 Controles de recepción

5.1.1 Materias primas

5.1.1.1 Yeso

Se requiere marcado CE y declaración de conformidad del suministrador y se controla por el fabricante su finura de molido y trabajabilidad. Tan solo si estos dos controles preliminares son positivos se procede a la recepción del yeso, del que antes de ser ensilado, se retira la cantidad suficiente para realizar también los controles de resistencia a flexotracción y compresión de acuerdo con el procedimiento de la norma UNE-EN 13279-2:06.

5.1.1.2 Fibras (vidrio y celulosa)

Se requiere certificado del suministrador y se comprueba su longitud.

5.1.2 Materiales auxiliares

Se realizan ensayos de flexotracción y compresión de acuerdo con el procedimiento de la norma UNE-EN 12860:2002.

5.1.2.1 Poliestireno

Se requiere certificado del suministrador.

5.1.2.2 Poliuretano

Se requiere certificado del suministrador.

5.2 Controles de fabricación

Durante el proceso de fabricación se controlan diariamente la dosificación automática del yeso, efectuada en peso y la del agua y fibras, dosificadas en volumen; el tiempo de fraguado controlado en los moldes, y cada 6 amasadas se efectúa un control de dureza del material.

5.3 Controles de producto acabado

De forma diaria se controlan las dimensiones (longitud, anchura, espesor, escuadría y planeidad), dureza Shore, peso y la carga de rotura a flexión.

6. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Los paneles se almacenan bajo cubierto o al exterior si lo permiten las condiciones atmosféricas y se empaquetan cada 8 unidades para el espesor de 7 cm y cada 6 unidades para el espesor de 9 cm. La protección se realiza mediante plástico retráctil o estirable, estos paquetes pesan aproximadamente 400 kg. Tanto la carga como descarga de camiones se debe efectuar mediante unas cinchas de nailon.

Para un correcto acopio y manipulación en obra, el fabricante cuenta con un documento denominado *Código Técnico de Montaje*.

7. PUESTA EN OBRA

Los equipos de colocación están compuestos, normalmente, por dos personas. De forma orientativa, según indica el fabricante, la capacidad de montaje por persona (para viviendas) es de 180 m² de panel instalado a la semana.

Las herramientas empleadas por los equipos de montaje son las normales de obra, más una cortadora circular de Widia y una amasadora eléctrica. Los cortes deben ejecutarse con una radial. Antes de su colocación se quitará el polvo con un cepillo o trapo húmedo.

La ejecución de las medianeras o elementos de separación vertical (ESV) se llevarán a cabo colocando sucesivamente y siempre adheridas mediante pegamento sobre la capa anterior, las capas que la forman: la primera hoja de paneles PANELSYSTEM, lámina asfáltica, aislante, lámina asfáltica y la segunda hoja de paneles PANELSYSTEM. Para una correcta ejecución y puesta en obra, el fabricante dispone de un documento denominado *Código Técnico de Montaje* a disposición de la empresa instaladora.

7.1 Unión de paneles entre sí

La unión entre paneles se realiza por encolado directo, aplicando el pegamento a paleta sobre el

canto con macho y encajando en éste la hembra de la siguiente. Se comprueba la alineación de los paneles mediante regla.

7.2 Encuentros entre los elementos de separación verticales y la fachada

Cuando los tabiques acometen a una fachada, deben disponerse bandas elásticas en el encuentro con la hoja exterior de una fachada de dos hojas.

La hoja interior de la fachada debe interrumpirse, y en ningún caso ésta debe cerrar la cámara del elemento de separación vertical (véase figuras 3 y 4).

7.3 Encuentros entre los elementos de separación verticales y los tabiques. Uniones en esquina o en T.

La tabiquería que acometa a un elemento de separación vertical ha de interrumpirse, de tal forma que el elemento de separación vertical sea continuo. (Véase figura 6).

Los tabiques se encolan directamente al tabique ya colocado, a través de un canto con hembra o de un corte.

7.4 Encuentros con los conductos de instalaciones

Cuando un conducto de instalaciones colectivas o un *shunt* se adose a un elemento de separación vertical, se revestirá de tal forma que no disminuya el aislamiento acústico del elemento de separación y se garantice la continuidad de la solución constructiva (véase figura 7a).

7.5 Encuentros de elementos de separación vertical (ESV) con pilares

Cuando acometa un elemento de separación vertical a un pilar, debe interponerse una banda elástica, de tal forma que esta envuelva la superficie del pilar. El pilar debe revestirse garantizando la continuidad del elemento de separación vertical (véase figura 7b).

7.6 Encuentros con techo

Las uniones al techo no deben ser solidarias, por tanto se realizan previa interposición de una banda de poliestireno expandido o espuma de poliuretano de al menos 1 cm de espesor (véase figuras 5b, 5c y 10).

7.7 Unión a suelos

El apoyo de los paneles al suelo se realiza interponiendo una banda de lámina asfáltica en las soluciones de tabiquería, o bien una membrana autoadhesiva de alta densidad con polietileno reticulado, tanto en tabiquería como en soluciones de medianera (véase figuras 5a, 5b y 10).

7.8 Zonas húmedas

La experiencia del fabricante ha demostrado que el panel queda protegido suficientemente si se coloca correctamente el revestimiento final del mismo con un mortero cola especial para yesos.

7.9 Unión con cercos

La unión se efectúa por medio de zarpas metálicas, espuma de poliuretano o puntas cruzadas dispuestas a cada lado del cerco. Se realizará previamente una caja al panel, llevándose a cabo posteriormente el relleno con el pegamento (véase figuras 8a y 8b).

Existen dos opciones para la realización de los cabeceros:

- Colocando una pieza entera amarrada lateralmente a las placas. Finalmente se coloca una venda de fibra de vidrio o venda de papel de 0,15 mm de espesor y 50 mm de anchura, con el pegamento y posteriormente se tiende con yeso o pasta.
- Mediante fijaciones mecánicas adecuadas o con la aplicación de espuma de poliuretano, que a su vez actúa como junta de dilatación.

En caso de optar por la solución con espuma de poliuretano, durante la puesta en obra se deberán tomar las medidas necesarias para que la misma no se vea afectada por la radiación ultravioleta.

7.10 Rozas

Las rozas horizontales no deben ser superiores a 2 y 3 cm para los espesores de 7 y 9 cm respectivamente. En todo caso, debe dejarse 1 cm entre el tubo y la cara vista del tabique, que se rellena y sella posteriormente con el pegamento o mortero, de tal manera que no se disminuya el aislamiento acústico inicialmente previsto.

Los enchufes, interruptores y cajas de registro de instalaciones contenidas en los elementos de separación verticales no serán pasantes.

7.11 Acabados

Los tabiques no tendrán un desplome superior a 10 mm por planta para una altura máxima de panel de 2,92 m y su planeidad medida con regla de 2 m no superará los 5 mm. Del mismo modo, deben evitarse las conexiones rígidas entre las hojas que puedan producirse durante la ejecución del elemento, debidas, por ejemplo, a rebabas de mortero o restos de material acumulados en la cámara.

Las láminas asfálticas y la lana mineral de la cámara deben cubrir toda la superficie de la misma.

En los encuentros del tabique de yeso con elementos de otra naturaleza se utiliza, además del poliestireno, malla de fibra de vidrio con el pegamento y venda de papel, para prevenir la aparición de fisuras. Las juntas deben ser enrasadas y alisadas con el pegamento o la pasta, de modo que queden preparadas para ser pintadas o revestidas. La descripción del procedimiento completo se recoge en el documento denominado Código Técnico de Vendedores que ha elaborado el beneficiario de este DIT.

8. REFERENCIAS DE UTILIZACIÓN

El fabricante indica que el sistema de paneles de yeso PANELSYSTEM ha sido utilizado desde hace más de 25 años en unos 4.400.000 m², y aporta como referencias las siguientes obras:

- 120 Chalets en Paracuellos (Madrid) para HERCESA. 22.000 m² (2006).
- 400 viviendas situadas en Parla (Madrid) para DHO. 80.000 m² (2007).
- 600 viviendas en Alcalá de Henares (Madrid) para HERCESA. 100.000 m² (2008).
- 350 viviendas en Las Cañas de Guadalajara (Guadalajara), para RAYET. 77.000 m² (2009).
- 150 viviendas para IVIMA en Madrid 30.000 m² (2010).
- 238 viviendas en Madrid para EMVS por FERROVIAL (39.250 m²) (2011).
- 148 viviendas para la EMVS en Madrid 29.000 m² (2012) SACYR.
- 50 viviendas para la EMVS en Madrid 9.000 m² (2012) ISOLUXCORSA.
- 174 viviendas para la EMVS en Madrid 32.000 m² (2012) ACCIONA.
- 350 viviendas en Algeciras para HERCESA 70.000 m² (2013).
- 115 viviendas en Boadilla del Monte (Madrid) para DRAGADOS. 21.000 m² (2013).
- 100 viviendas en San Sebastián para AMENABAR. 20.000 m² (2014).
- Colegio San Ignacio de Loyola en Torreldones para ACCIONA. 6.000 m² (2015).
- 87 viviendas en San Sebastián de los Reyes (Madrid) para AMENABAR. 18.000 m² (2015).

El IETcc ha realizado diversas visitas a obras, así como encuestas, todas ellas con resultado satisfactorio.

9. ENSAYOS

Los paneles PANELSYSTEM han sido objeto de ensayos de identificación y aptitud en el laboratorio del IETcc y otros laboratorios acreditados (Informes IETcc nº 335/06, 103/03 y 19969-I); de aislamiento a ruido aéreo en el laboratorio del IETcc (Informes IETcc LA-06.003, LA-08.006) y en el Centro de Tecnologías físicas "L. Torres Quevedo" (Informes AC3-D5-10-II, AC3-

D8-09-I, AC3-D10-09-III, AC3-D2-11-II y AC3-D5-12-XII); de ensayos de aislamiento a ruido aéreo in situ en el laboratorio del IETcc (Expediente LA-08.006); de ensayos para medidas de conductividad y resistencia térmicas, y simulación por CFD para caracterización térmica en el Laboratorio Eusko Jaurlaritza (informes 0920Y68/1, 0920Y75P/2 y 0920Y17S/3); de reacción al fuego en el Laboratorio de Investigación y Control del Fuego "LICOFF" (Informes 7192/06 y 7216/06).

El resumen de los ensayos realizados es el siguiente:

9.1 Ensayos de Identificación

9.1.1 Características físicas

Mortero		Pegamento	
Flexo-tracción MPa	Compresión MPa	Flexo-tracción MPa	Compresión MPa
2,94	5,50	2,90	7,20

Conforme con lo descrito por el fabricante.

9.1.2 Características dimensionales y peso

	7 cm	9 cm
Longitud (mm)	2600	2640
Anchura (mm)	500	500
Espesor (mm)	70,01	90,03
Escuadría (mm)	3	3
Planeidad	1,01	0,76
Peso (en kg/m ² ; humedades entre 6 y 9 %).	36,78	40,70

Conforme con lo descrito por el fabricante.

9.1.3 Dureza

El índice de dureza Shore C es de 75, para ambos espesores de 7 cm y 9 cm.

Conforme con lo descrito por el fabricante.

9.1.4 Resistencia a flexión

Ensayo conforme a la norma UNE 12030:1998, realizado con una separación entre apoyos inferiores de 2.500 mm.

	Tipo de panel	
	7 cm	9 cm
Tensión de rotura (kN/m ²)	0,89	1,03

Conforme con lo descrito por el fabricante.

9.2 Aptitud de empleo

9.2.1 Comportamiento bajo la acción de choque de cuerpo blando

Ensayo realizado según la Guía EOTA 003 conforme a la norma ISO 7893 sobre una muestra de 4,50 m de longitud y 2,50 m de altura, con una puerta de hoja de 0,72 m situada a 1 m de uno de los extremos (conforme al Anexo B de la Guía). Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Energía de Impacto (J)	Panel de 7 cm
300	No fisurado No atraviesa
400	Fisurado No atraviesa
3 x 300	Fisurado No atraviesa
(Flecha residual inferior a 5 mm)	

9.2.2 Comportamiento bajo la acción de choque de cuerpo blando para $H = 4,60$ m

El ensayo se realiza siguiendo el procedimiento establecido en la Guía EOTA 003 sobre una muestra de 4,50 m de longitud y 4,60 m de altura, con una puerta de hoja de 0,72 m situada a 1 m de uno de los extremos (Anexo B de la Guía).

C. uso	Posición	Daño estructural			Durabilidad		
		Espesor	7 cm	9 cm	Espesor	7 cm	9 cm
I	Inferior a 1,5 m	1x blando 100 J	Sin daño	Sin daño	3x blando 60 J	Sin daño	Sin daño
		1x duro 10 J	Ø28 mm	Ø28 mm	1x duro 2,5 J	Ø12 mm	Ø12 mm
	Superior a 1,5 m	-	-	-	-	-	-
II	Inferior a 1,5 m	1x blando 200 J	Sin daño	Sin daño	3x blando 120 J	Sin daño	Sin daño
		1x duro 10 J	Ø28 mm	Ø28 mm	1x duro 2,5 J	Ø12 mm	Ø12 mm
	Superior a 1,5 m	-	-	-	1x duro 2,5 J	Ø12 mm	Ø12 mm
III	Inferior a 1,5 m	1x blando 300 J	Sin daño	Sin daño	3x blando 120 J	Sin daño	Sin daño
		1x duro 10 J	Ø28 mm	Ø28 mm	1x duro 6 J	Ø14 mm	Ø14 mm
	Superior a 1,5 m	1x duro 10 J	Ø28 mm	Ø28 mm	1x duro 6 J	Ø14 mm	Ø14 mm
IV a	Inferior a 1,5 m	1x blando 400 J	Sin daño	Sin daño	3x blando 120 J	Sin daño	Sin daño
		1x duro 10 J	Ø28 mm	Ø28 mm	1x duro 6 J	Ø14 mm	Ø14 mm
	Superior a 1,5 m	1x duro 10 J	Ø28 mm	Ø28 mm	1x duro 6 J	Ø14 mm	Ø14 mm
IV b	Inferior a 1,5 m	1x blando 500 J	Fisura	Fisura	3x blando 120 J	Sin daño	Sin daño
		1x duro 10 J	Ø28 mm	Ø28 mm	1x duro 6 J	Ø14 mm	Ø14 mm
	Superior a 1,5 m	1x duro 10 J	Ø28 mm	Ø28 mm	1x duro 6 J	Ø14 mm	Ø14 mm
IV c	Inferior a 1,5 m	1x blando 900 J	*	*	3x blando 120 J	*	*
		1x duro 10 J	*	*	1x duro 6 J	*	*
	Superior a 1,5 m	1x duro 10 J	*	*	1x duro 6 J	*	*

Siendo C. Uso (Categorías de Uso) las establecidas en la Guía EOTA 003. (Ver Tabla 3)

Tabla 3. Relación entre categorías de uso y categorías de área. Guía DITE 003.

Categoría de Uso, como se especifica en las Cláusulas 6.4.1 y 6.7.1 de la Guía	Descripción	Área como se especifica en el Eurocódigo 1 EN 1991-1-1:2002
I	Zonas accesibles primordialmente a personas que realizan un uso muy cuidadoso. Riesgo escaso de accidentes y uso indebido.	A, B
II	Zonas accesibles primordialmente a personas que realizan un uso cuidadoso. Riesgo moderado de accidentes y uso indebido.	
III	Zonas accesibles primordialmente a personas que realizan un poco cuidadoso. Riesgo alto de accidentes y uso indebido.	C1 – C4, D1 – D2
IV	Zonas y riesgo como II y III En este caso se incluye el riesgo de caída a un piso en un nivel inferior, CF. Tipo B en Figura 1 clausula 2.2	C5 + A, B, C1 – C4, D1 – D2 donde la partición tiene función de barrera.

Las Categorías de Uso E, F and G como se especifica en la Norma EN 1991-1-1 no están cubiertas por la Guía

Tabla 4. “División de los usos por categorías” Eurocódigo 1 Acciones en estructuras

Categoría	Uso específico	Ejemplo
A	Zonas de actividades domésticas y residenciales	Habitaciones en edificios residenciales y viviendas individuales; dormitorios y pasillos en Hospitales; dormitorios en hoteles y cocinas y lavabos en hostales.
B	Zona de oficinas	
C	Zonas donde pueda congregarse la gente (con excepción de las zonas definidas bajo las categorías A, B y D) ⁽¹⁾ .	<p>C1: Zonas con mesas, etc., por ejemplo, zonas en colegios, cafés, restaurantes, comedores, salas de lectura y recepciones.</p> <p>C2: Zonas con asientos fijos, por ejemplo zonas en Iglesias, teatros o cines, salas de conferencias, salones de actos, salas de reuniones, salas de espera, salas de espera en estaciones de ferrocarril.</p> <p>C3: Zonas sin obstáculos para el movimiento de personas, por ejemplo, zonas en museos, salas de exposiciones, etc., zonas de acceso en edificios públicos y de la administración, hoteles, hospitales y antesalas de estaciones del ferrocarril.</p> <p>C4: Zonas con posibles actividades físicas, por ejemplo, salones de baile, salas de gimnasios, escenarios.</p> <p>C5: Zonas susceptibles de reunir grandes masas, por ejemplo, en edificios para celebraciones públicas como salas de conciertos, palacios de deportes incluidas las gradas, terrazas y zonas de acceso y andenes del tren.</p>
D	Zonas comerciales	<p>D1: Zonas en tiendas al detalle.</p> <p>D2: Zonas en grandes almacenes.</p>
(1) Se llama la atención sobre el apartado 6.3.1.1.(2) en particular en cuanto a C4 y C5. Véase la norma EN 1990 cuando haya que tener en cuenta los efectos dinámicos. En cuanto a la categoría E, véase la tabla 6.3.		
Nota 1- Dependiendo de los usos previstos, zonas que pueden ser de las categorías C2, C3 y C4 puedan pasar a ser de la categoría C5 por decisión del cliente y / o el anexo nacional.		
Nota 2- El anexo nacional puede establecer sub-categorías para A, B, C1 a C5, D1 y D2.		
Nota 3- Véase apartado 6.4.2 para la actividad industrial y de almacenamiento.		

9.2.3 Comportamiento bajo la acción de choque de cuerpo duro

Sobre la misma muestra del ensayo 9.2.1 y conforme a la norma ISO 7893, se realiza un choque pendular con una bola de acero de 1 kg de peso.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

	7 cm	9 cm
Energía de impacto (J)	Diámetro de la huella (mm)	
10	23	23

Conforme con la especificación de la Guía.

9.2.4 Resistencia a las cargas excéntricas

Sobre una muestra como la de los apartados anteriores se sitúa una estantería formada por dos brazos en voladizo de 0,3 m de longitud y separados entre sí 0,5 m, donde apoya una base sobre la que se sitúan las cargas de ensayo. Los dos brazos se anclan por dos fijaciones separadas 0,15 m.

En la otra cara de la muestra se dispone un flexímetro para medir la flecha que se produzca en la muestra, que no deberá exceder de 1/500 de la luz o de 5 mm a las 24 horas de la puesta en carga.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Panel	Carga (N)	Flecha (mm)			
		Vano superior		Vano inferior	
		En carga (24 h)	Remanente	En carga (24h)	Remanente
7 cm	500	0,25	0,00	0,19	0,00
	4000	0,48	0,02	3,78	1,68
9 cm	500	0,06	0,00	0,00	0,00
	4000	0,18	*	0,88	*

Conformes con la especificación de la Guía.

* Durante la realización del ensayo se produjo un fallo local del anclaje, no por rotura del panel.

9.2.5 Anclajes

Ensayos realizados a los paneles de 7 cm (aplicables a los paneles de 9 cm).

9.2.5.1 Resistencia a tracción pura

Tipo de anclaje	Diámetro (mm)	Carga (kN)
taco de nailon tipo Fischer, de expansión por roscado	12	0,832
	8	1,022
taco de polietileno blanco de expansión por roscado	12	0,600
	10	0,664
	8	0,517

9.2.5.2 Resistencia al cizallamiento

Tipo de anclaje	Diámetro (mm)	Carga (kN)
taco de nailon tipo Fischer, de expansión por roscado	12	2,407
	8	1,654
taco de polietileno blanco de expansión por roscado	12	1,515
	10	1,403
	8	1,239

9.2.6 Aislamiento acústico

9.2.6.1 Ensayos de laboratorio

(Informes del Centro de Tecnologías físicas "L. Torres Quevedo": AC3-D5-10-II, AC3-D8-09-I, AC3-D10-09-III y AC3-D2-11-II y IETcc: LA 06.003) Ensayos realizados con los resultados siguientes:

- Panel TC-7 (masa 36 kg) 35,0 dBA
- Panel TC-9 (masa 40,29 kg) 35,0 dBA
- Elemento de separación:
 - TC9+LA2+LM40+LA2+TC9 58,3 dBA
 - TC7+LA2+LM40+LA2+TC9 61,1 dBA
 - TC7+MA2+KNAUF40+MA2+TC7 59,5 dBA
- Elemento de medianería:
 - TC7+MA2+LM40+MA2+TC9 63,2 dBA

9.2.6.2 Ensayos realizados in situ por el IETcc (Informe LA-08.006)

Ensayo realizado in situ conforme a la UNE-EN ISO 140-4 y UNE-EN ISO 717-1, al objeto de comprobar los resultados obtenidos por cálculo en el Informe IETcc CT 08, sobre la solución de medianería TC7+LA4+LM40+LA2+TC9 instalada en edificio de viviendas con la definición de aislamiento en forjados y fachadas según DB.

Los resultados se recogen en la tabla siguiente:

	(ISO 717-1)	CTE-HR
	(100-3.150 Hz)	(100-5.000 Hz)
	DnTw (C;Ctr)	DnT,A (dBA)
Ensayo LA-08.006-01	53 (-1;-4)	52 dBA

9.2.7 Resistencia al fuego

De acuerdo con los ensayos realizados en el Instituto de Control del Fuego LICOE (Informes 7192/06 y 7216/06), según norma UNE-EN 13501-2:2004, la clasificación de resistencia al fuego ha sido:

- Panel de 7 cm: EI-90
- Panel de 9 cm: EI-120

coloquen con adhesivos cuya adherencia mínima, conforme a las exigencias UEAtc o norma en 12004, sea de 0,50 MPa.

10.4.2 Salubridad

En lo que respecta a la justificación de la Exigencia Básica *DB HS 1: Protección contra la humedad*, la limitación del riesgo previsible de presencia inadecuada de agua o humedad en el interior de los edificios y en sus cerramientos, como consecuencia del agua procedente de precipitaciones atmosféricas, de escorrentías del terreno o de condensaciones, del que forma parte el trasdosado, corresponde al diseño de composición de la fachada.

En el Anejo 1 se incluyen, junto con los valores de transmitancia térmica, los grados de impermeabilidad GI de diferentes soluciones de fachadas incluyendo los trasdosados realizados con paneles TC-7 de PANELSYSTEM, obtenidos a partir de los datos incluidos en el Catálogo de Elementos constructivos del CTE, redactado por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja con la colaboración de CEPCO y AICIA (2008).

10.4.3 Sustancias peligrosas

Según declaración del fabricante, los paneles no incorporan ni liberan sustancias peligrosas de acuerdo con la legislación nacional y europea.

10.5 Protección contra el ruido

El DB HR incluye dos opciones de aislamiento acústico:

- La opción general, que consiste en un método de cálculo basado en el modelo simplificado de la norma UNE-EN 12354, partes 1, 2 y 3.
- La opción simplificada, que contiene soluciones que dan conformidad a las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto.

La ventaja de la opción simplificada es su sencillez; el proyectista no tiene que realizar cálculos complejos, ni valorar las transmisiones indirectas, simplemente debe elegir entre un conjunto de soluciones que el documento propone. Una vez elegida la solución, el técnico sólo tiene que buscar en un catálogo o consultar con el fabricante los elementos constructivos que cumplen con los valores.

Por su sencillez es previsible que la opción simplificada sea el instrumento más usado para proyectar edificios, a pesar de que contiene sólo unas determinadas soluciones que son las más abundantes, de tal forma que existen soluciones en el mercado que no están incluidas en las tablas.

Tal es el caso de la solución de tabiquería PANELSYSTEM, que -aunque los paneles TC-7 y TC-9 cumplen con la condición de aislamiento-, no cumplen con la condición de masa mínima (la Tabla 3.1 del DB HR del CTE, para los elementos de fábrica o paneles prefabricados pesados con bandas indica, que la masa por unidad de superficie mínima es 65 kg/m^2 y el R_A mínimo es 33 dBA).

Tampoco la solución de medianería PANELSYSTEM queda englobada en la tabla 3.2 del CTE, al ser su masa inferior a los 130 kg/m^2 , a pesar de que su aislamiento acústico está por encima de los 54 dBA.

Para comprobar las prestaciones acústicas de la solución de tabiquería PANELSYSTEM se han realizado los cálculos siguiendo la opción general, utilizando los datos sobre la tabiquería, geometría desfavorable y los índices de reducción vibracional en la unión, descritos en el Anejo D del DB HR.

Como ayuda, se ha empleado la hoja de cálculo del CTE publicada por la Subsecretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas (Ministerio de Fomento), antes Ministerio de Vivienda, disponible en la web: www.codigotecnico.org.

Para suministrar al usuario los resultados de los cálculos realizados, en la forma sencilla como se dan en la opción simplificada del DB HR, se han realizado las tablas 3 y 4 de éste DIT, que son equivalentes a las tablas 3.2 y 3.3 del DB HR.

Los cálculos efectuados son válidos únicamente para las soluciones analizadas, habiéndose modelado las uniones entre elementos constructivos, por eso es importante que se sigan las condiciones de las uniones incluidas las figuras que se adjuntan más adelante.

Además de los cálculos se ha realizado con la solución propuesta un ensayo in situ, descrito en el apartado 9.2.6.2, que ha validado el resultado teórico.

1. Elementos de separación verticales

La tabla 5 es equivalente a la tabla 3.2 del DB HR, pero está adaptada a la tabiquería TC-7 y TC-9 de PANELSYSTEM.

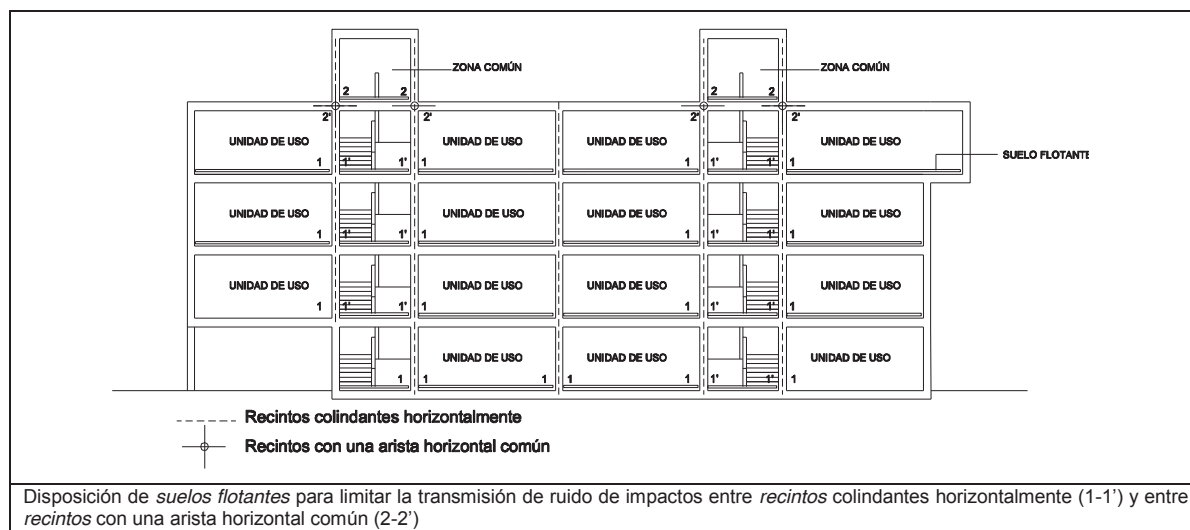
En ella se expresan los valores mínimos que debe cumplir cada uno de los parámetros acústicos que definen los elementos de separación verticales entre unidades de uso diferentes o entre una unidad de uso y una zona común.

Entre paréntesis figuran los valores que deben cumplir los elementos de separación verticales que delimitan un recinto de instalaciones o un recinto de actividad.

TABLA 5. Parámetros acústicos de los componentes de los elementos de separación verticales.

Elementos de separación verticales		
Tipo	Elemento base ⁽¹⁾⁽²⁾	<i>Trasdosado</i> ⁽³⁾ (en función de la tabiquería) Tabiquería PANELSYSTEM TC-7 – TC-9
	m kg/m ²	R _A dBA
PANELSYSTEM		
TC7+LA2+LM40+LA2+TC9	81,8	61,1
PANELSYSTEM TC7+MA2+LM40+MA2+TC9	84,5	63,2
PANELSYSTEM TC9+LA2+LM40+LA2+TC9	90	58,3
PANELSYSTEM TC7+MA2+LM40+MA2+TC7	80,5	59,5
TIPO 1 Una hoja o dos hojas de fábrica con <i>trasdosado</i>	120	38
	150	41
	180	45
	200	46
	250	51
	300	52
	300 ⁽⁶⁾	55 ⁽⁶⁾
	350	55
	400	57
TIPO 2 Dos hojas de fábrica con <i>bandas elásticas</i> perimétricas	130 ⁽⁴⁾	54 ⁽⁴⁾
	170 ⁽⁴⁾	54 ⁽⁴⁾
	(200) ⁽⁵⁾	(61) ⁽⁵⁾

- (1) En el caso de elementos de separación verticales de dos hojas de fábrica, el valor de m corresponde al de la suma de las masas por unidad de superficie de las hojas y el valor de R_A corresponde al del conjunto.
- (2) Los elementos de separación verticales deben cumplir simultáneamente los valores de masa por unidad de superficie, m y de índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A.
- (3) El valor de la mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, ΔR_A, corresponde al de un *trasdosado* instalado sobre un elemento base de masa mayor o igual a la que figura en 4.2 Fachadas (Página 24).
- (4) La masa por unidad de superficie de cada hoja que tenga *bandas elásticas* perimétricas no será mayor que 150 kg/m² y en el caso de los elementos de tipo 2 que tengan *bandas elásticas* perimétricas únicamente en una de sus hojas, la hoja que apoya directamente sobre el forjado debe tener un índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A, de al menos 42 dBA.
- (5) Esta solución es válida únicamente para tabiquería de entramado autoportante o de fábrica o paneles prefabricados pesados con bandas elásticas en la base, dispuestas tanto en la tabiquería del recinto de instalaciones, como en la del recinto protegido inmediatamente superior. Por otra parte, esta solución no es válida cuando acometan a medianerías o fachadas de una sola hoja ventiladas o que tengan el aislamiento por el exterior.
- La masa por unidad de superficie de cada hoja que tenga bandas elásticas perimétricas no será mayor que 150 kg/m² y en el caso de los elementos de tipo 2 que tengan bandas elásticas perimétricas únicamente en una de sus hojas, la hoja que apoya directamente sobre el forjado debe tener un índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A, de al menos 45 dBA.
- (6) Esta solución es válida si se disponen bandas elásticas en los encuentros del elemento de separación vertical con la tabiquería de fábrica que acomete al elemento, ya sea ésta con apoyo directo o con bandas elásticas.
- (7) Estas soluciones no son válidas si acometen a una fachada o medianería de una hoja de fábrica o ventilada con la hoja interior de fábrica o de hormigón.
- (8) Valores aplicables en combinación con un forjado de masa por unidad de superficie, m, de al menos 250 kg/m² y un suelo flotante, tanto en el recinto emisor como en el recinto receptor, con una mejora del índice global de reducción acústica ponderado A, ΔR_A mayor o igual que 4dBA.
- (9) Valores aplicables en combinación con un forjado de masa por unidad de superficie, m, de al menos 175 kg/m². Independientemente de lo especificado en las notas 8 y 9, los suelos flotantes y los techos suspendidos deben cumplir lo especificado en el apartado 3.1.2.3.5.

Esquema sección vertical. Disposición de los *suelos flotantes***10.6 Ahorro de energía y Aislamiento térmico**

Las propiedades higrotérmicas de los paneles PANELSYSTEM TC-7 y TC-9 se han incluido en el apartado 2.1.3.3.

En el Anejo 1 de este documento se incluyen los valores de transmitancia térmica U , en $W/m^2 K$; de un número suficiente de elementos constructivos de uso frecuente, de manera similar a la recogida en el Catálogo de Elementos constructivos del CTE, con el mismo fin que éste, el de facilitar un instrumento de ayuda para el cumplimiento de las exigencias generales de la Exigencia Básica DB HE 1: Limitación de demanda energética.

Los elementos se han agrupado en familias que tienen en común la sección tipo en la que se identifican cada uno de los elementos que la componen, desarrollando cada tipo acompañando a los valores de U (DB HE) en función del aislante; los valores de R_A , $R_{A,tr}$ y m (DB HR), así como valores GI (DB HS).

10.7 Durabilidad y mantenimiento

Este Sistema posee una durabilidad y unas necesidades de mantenimiento equivalentes a las de las tabiquerías tradicionales.

11. CONCLUSIONES

El conocimiento del sistema a través de los cálculos y ensayos realizados, así como las inspecciones a fábrica y obras, permiten concluir que:

El Sistema de paneles de yeso PANELSYSTEM conforma un sistema constructivo que, por sus dimensiones y sistema de unión, facilitan una gran rapidez en la ejecución de tabiquerías, facilitando la incorporación de instalaciones en su interior.

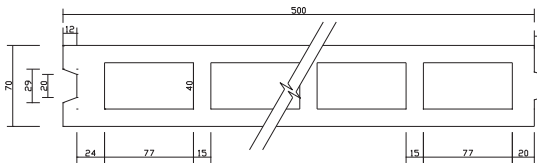
El sistema de puesta en obra permite corregir defectos en la rectitud de aristas y escuadrías, directamente en la colocación, con la aplicación del pegamento.

El acabado de las superficies exteriores del tabique no hace necesario operaciones posteriores del enlucido, pudiendo quedar, por tanto, dispuesto para el revestimiento final.

Por todo ello, considerando además que existe un seguimiento continuo de la fabricación, realizado por el IETcc y una supervisión o asistencia técnica permanente por el fabricante de la puesta en obra, se estima suficiente y se valora favorablemente en este DIT la idoneidad de empleo del sistema propuesto por el fabricante.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

FIGURA 1. TABIQUE DE 7 cm.
(Cotas en mm)



TABIQUE DE 9 cm.
(Cotas en mm)

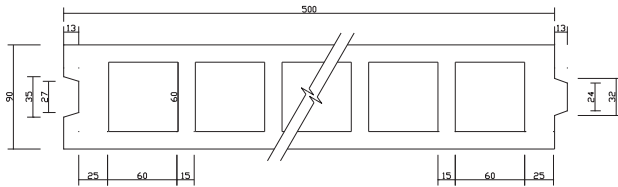
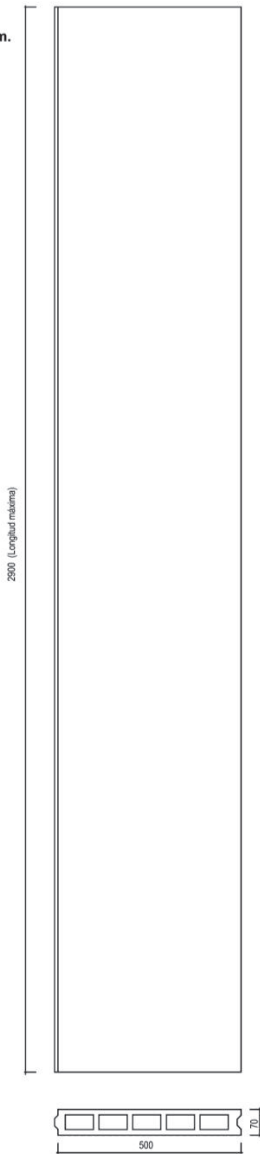


FIGURA 2:

TABIQUE DE 7 cm.
(Cotas en mm.)



TABIQUE DE 9 cm.
(Cotas en mm.)

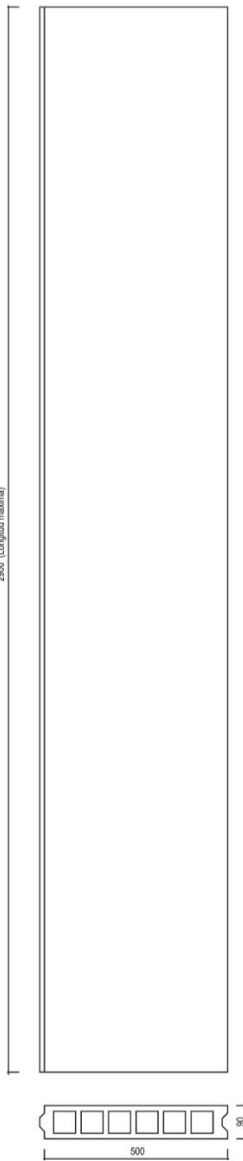


FIGURA 7a. SECCIÓN HORIZONTAL. ENCUENTRO DE UN ELEMENTO DE SEPARACIÓN VERTICAL Y UN CONDUCTO DE VENTILACIÓN

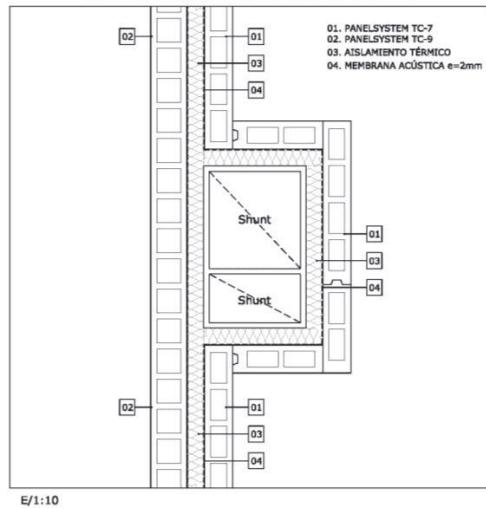


FIGURA 7b. SECCIÓN HORIZONTAL. ENCUENTRO DE UN ELEMENTO DE SEPARACIÓN VERTICAL Y UN PILAR

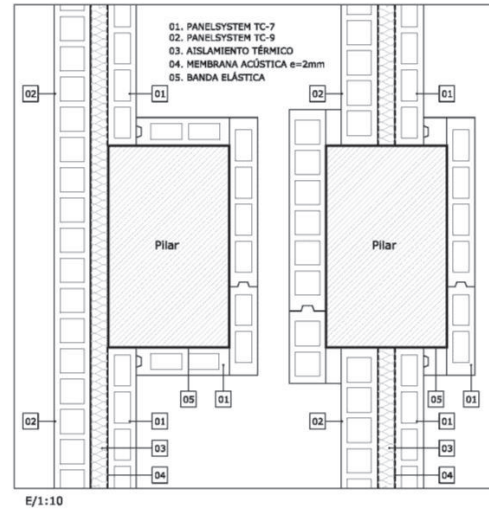


FIGURA 7c. SECCIÓN HORIZONTAL. ENCUENTRO DE UN ELEMENTO DE SEPARACIÓN VERTICAL Y UN PILAR II

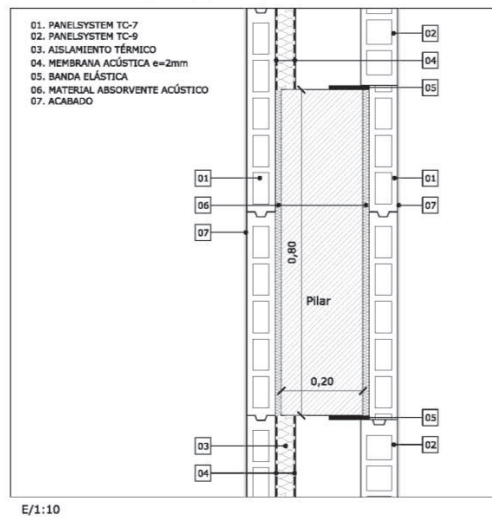


FIGURA 8a: DETALLE DE COLOCACIÓN DEL PRECERCO

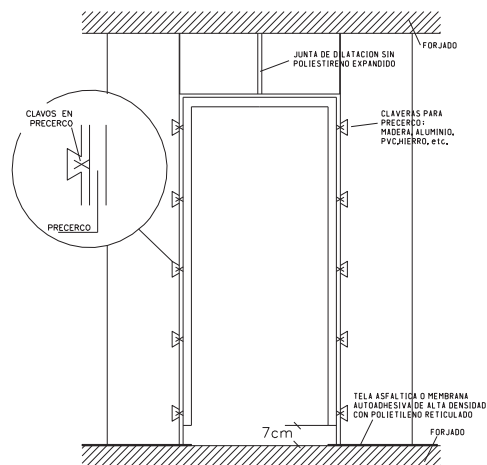
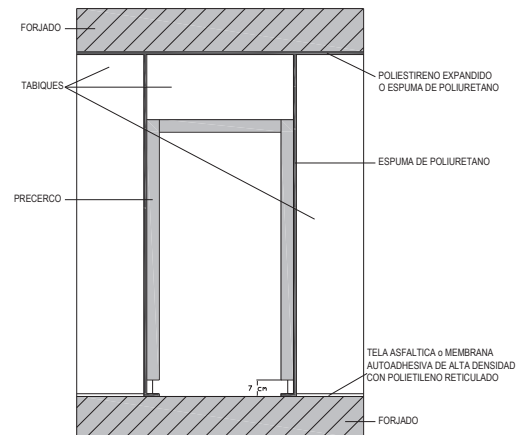


FIGURA 8b: COLOCACIÓN DE CABECEROS Y PRECERCOS CON ESPUMA



ANEJO 1

El presente Anejo tiene por objeto completar, para el Sistema de tabiquería PANELSYSTEM, el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE redactado por el IETcc con la colaboración de CEPCCO y AICIA.

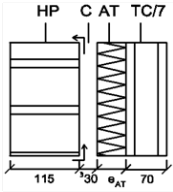
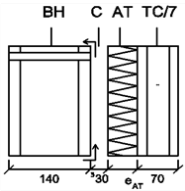
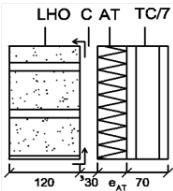
Los cálculos se han realizado con los mismos considerandos que se establecen en el citado catálogo.

En ningún caso la presente ampliación, exime del cumplimiento de las obligaciones derivadas del CTE y en especial de lo indicado en el artículo 7 del mismo, ni de cualquier otra reglamentación que sea de aplicación.

4.2.1 Fábrica vista, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior

FACHADA Hoja principal de fábrica vista								
SIN CÁMARA O CON CÁMARA DE AIRE NO VENTILADA								
Aislamiento por el interior								
<p>HP hoja principal</p> <p>LC fábrica de ladrillo cerámico (perforado o macizo)</p> <p>J1 juntas de mortero sin interrupción</p> <p>J2 juntas de mortero con adición de un producto hidrófugo (sin interrupción, llagueadas,...)</p> <p>BH fábrica de bloque de hormigón⁽¹⁰⁾ de áridos densos</p> <p>LHO fábrica de ladrillo perforado de hormigón⁽¹⁰⁾ de áridos densos perforado</p> <p>RM revestimiento intermedio</p> <p>N1 resistencia media a la filtración formado por un enfoscado de mortero con un espesor mínimo de 10 mm</p> <p>N2 resistencia alta a la filtración formado por un enfoscado de mortero con aditivos hidrofugantes con espesor mínimo de 15 mm</p> <p>B3 resistencia muy alta a la filtración⁽⁷⁾</p> <p>C cámara de aire no ventilada⁽⁹⁾</p> <p>SP separación de 10 mm</p> <p>AT aislante no hidrófilo</p> <p>HI hoja interior</p> <p>TC -7 PANELSYSTEM TC-7</p>								
Código	Sección (mm)	Datos entrada		HS	HE ⁽⁴⁾	HR		
		HP	RM			$R_A^{(5)(6)}$ (dBA)	$m^{(6)}$ (kg/m ²)	$R_{A,tr}^{(5)(6)}$ (dBA)
F 1.1 PS		J1	N1	2	$1/(0,72+R_{AT})$	45	182	42
		J2	N2	3 ⁽²⁾		[46]	[194]	[43]
		-	B3	5				
F 1.2 PS		J1	N1	3	$1/(0,89+R_{AT})$	45	182	42
		J2	N2	4 ⁽²⁾		[46]	[194]	[43]
		-	B3	5				
F 1.5 PS		J1	N1	2 ⁽³⁾	$1/(0,88+R_{AT})$	50	295	47
		J2	N2	3		[50]	[319]	[47]
		-	B3	5				
F 1.6 PS		J1	N1	3 ⁽³⁾	$1/(1,05+R_{AT})$	50	295	47
		J2	N2	4		[50]	[319]	[47]
		-	B3	5				

4.2.2 Fábrica vista, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior

FACHADA Hoja principal de fábrica vista						
CON CÁMARA DE AIRE VENTILADA						
Aislamiento por el interior						
<p>HP hoja principal</p> <p>LC fábrica de ladrillo cerámico (perforado o macizo)</p> <p>BH fábrica de bloque de hormigón⁽⁴⁾ de áridos densos</p> <p>BC fábrica de bloque cerámico</p> <p>LHO fábrica de ladrillo perforado de hormigón⁽⁴⁾ de áridos densos perforado</p> <p>C cámara de aire ventilada</p> <p>AT aislante no hidrófilo</p> <p>HI hoja interior</p> <p>TC - 7 PANELSYSTEM TC-7</p>						
Código	Sección	HS	HE ⁽¹⁾	HR		
		GI	U (W/m ² K)	R _A (dBA)	m ⁽²⁾ (kg/m ²)	R _{A,tr} (dBA)
F.2.1 PS		5	$1/(0,62+R_{AT})$	40	155	37
F.2.3 PS		5	$1/(0,62+R_{AT})$	43	204	40
F.2.6 PS		5	$1/(0,62+R_{AT})$	42	199	39

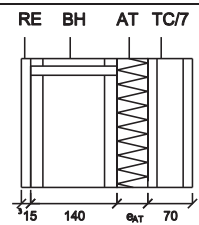
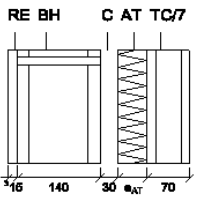
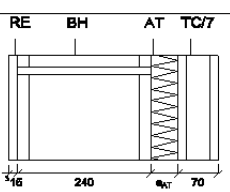
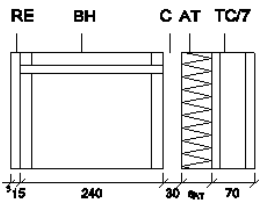
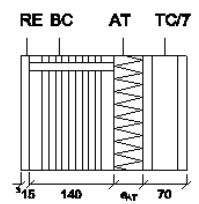
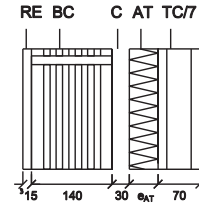
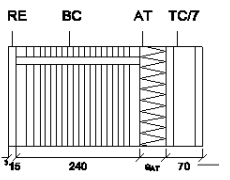
(1) El factor de temperatura de la superficie interior, f_{Rsi} se calculará según la siguiente expresión:

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25$$

(2) En el caso de elementos de fábrica de ladrillo aparecen dos valores de m, el primero de ellos es un valor mínimo y el segundo, que figura **entre corchetes**, es un valor medio.

(4) Cuando la hoja principal sea de bloque o ladrillo de hormigón, salvo cuando sea curado en autoclave, el valor de la absorción de los bloques o ladrillos medido según el ensayo de UNE 41170:1989EX debe ser como máximo 0,32 g/cm³.

Cuando la hoja principal sea de bloque o ladrillo de hormigón cara vista, el valor medio del coeficiente de succión de los bloques o ladrillos medido según el ensayo de UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006 y para un tiempo de 10 minutos debe ser como máximo 3 g/m².s y el valor individual del coeficiente debe ser como máximo 4,2 g/m².s.

Código	Sección	Datos entrada	HS	HE ⁽²⁾	HR		
		RE	GI ⁽¹⁾	U (W/m ² K)	R _A ⁽³⁾⁽⁴⁾ (dBA)	m ⁽⁴⁾ (kg/m ²)	R _{A, tr} ⁽³⁾⁽⁴⁾ (dBA)
F 3.9 PS		R1	3	$1/(0,73+R_{AT})^{(5)}$	48 ⁽⁵⁾	231	45 ⁽⁵⁾
		R3 o B3	5				
F 3.10 PS		R1	4	$1/(0,90+R_{AT})^{(5)}$	48 ⁽⁵⁾	231	45 ⁽⁵⁾
		R3 o B3	5				
F 3.15 PS		R1	4	$1/(0,79+R_{AT})^{(5)}$	53 ⁽⁵⁾	327	50 ⁽⁵⁾
		R3 o B3	5				
F 3.16 PS		R1 o B3	5	$1/(0,96+R_{AT})^{(5)}$	53 ⁽⁵⁾	327	50 ⁽⁵⁾
F 3.21 PS		R1	3	$1/(0,86+R_{AT})$	43	169	40
		R3 o B3	5		[45]	193	[42]
F 3.22 PS		R1	4	$1/(1,03+R_{AT})$	43	169	40
		R3 o B3	5		[45]	193	[42]
F 3.25 PS		R1	4	$1/(1,11+R_{AT})$	50	267	47
		R3 o B3	5		[52]	309	[49]

4.2.5 Fábrica con revestimiento continuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior

FACHADA Hoja principal de fábrica con revestimiento continuo						
CON CÁMARA DE AIRE VENTILADA						
Aislamiento por el interior						
<p>RE revestimiento exterior continuo</p> <p>HP hoja principal</p> <p>LC fábrica de ladrillo cerámico</p> <p>BH fábrica de bloque de hormigón⁽⁷⁾</p> <p>BC fábrica de bloque cerámico</p> <p>LHO fábrica de ladrillo perforado de hormigón⁽⁷⁾</p> <p>BP fábrica de bloque de picón</p> <p>C cámara de aire ventilada</p> <p>AT aislante no hidrófilo</p> <p>HI hoja interior</p> <p>TC-7 PANELSYSTEM TC-7</p>						
Código	Sección	HS	HE ⁽¹⁾	HR		
		GI	U (W/m ² K)	R _A ⁽²⁾ (dBA)	m ⁽²⁾ (kg/m ²)	R _{A,tr} (dBA)
F 5.1 PS		5	$1/(0,62+R_{AT})$	42	182 [194]	39
F 5.3 PS		5	$1/(0,62+R_{AT})^{(3)}$	45 ⁽³⁾	231 ⁽³⁾	42 ⁽³⁾
F5.6 PS		5	$1/(0,62+R_{AT})^{(3)}$	45 ⁽³⁾	231 ⁽³⁾	42 ⁽³⁾

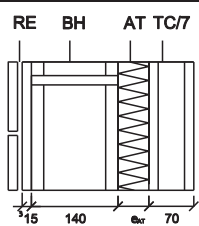
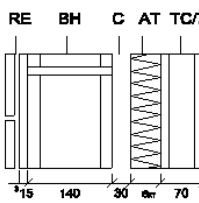
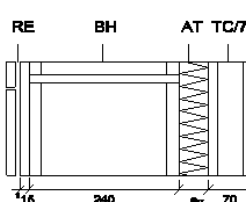
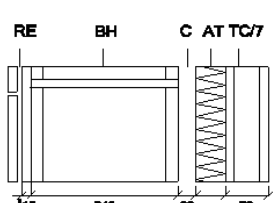
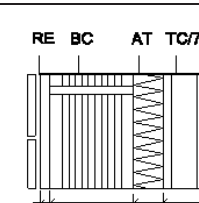
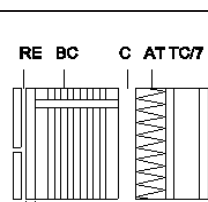
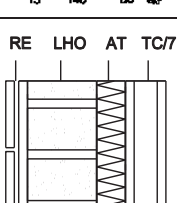
⁽¹⁾ El factor de temperatura de la superficie interior, f_{Rsi} se calculará según la siguiente expresión:

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25$$

⁽²⁾ En el caso de elementos de fábrica de ladrillo aparecen dos valores de m , de R_A , y de $R_{A,tr}$, el primero de ellos es un valor mínimo y el segundo, que figura entre corchetes, es un valor medio.

⁽³⁾ Valores de U , m , R_A y $R_{A,tr}$ para fábricas de bloque o ladrillo de hormigón convencional o de áridos densos.

⁽⁷⁾ Cuando la hoja principal sea de bloque o ladrillo de hormigón, salvo cuando sea curado en autoclave, el valor de la absorción de los bloques o ladrillos medido según el ensayo de UNE 41170:1989EX debe ser como máximo 0,32 g/cm³.

Código	Sección (mm)	Datos entrada	HS	HE ⁽²⁾	HR ⁽³⁾		
		RE	GI ⁽¹⁾	U (W/m ² K)	R _A ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ (dBA)	m ⁽⁴⁾ (kg/m ²)	R _{A,fr} ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ (dBA)
F 6.9 PS		R1	3	$1/(0,72+R_{AT})^{(6)}$	49 ⁽⁶⁾ (50) ⁽⁶⁾	253	46 ⁽⁶⁾ (47) ⁽⁶⁾
		R2 o B3	5				
F 6.10 PS		R1	4	$1/(0,89+R_{AT})^{(6)}$	49 ⁽⁶⁾ (50) ⁽⁶⁾	253	46 ⁽⁶⁾ (47) ⁽⁶⁾
		R2 o B3	5				
F 6.15 PS		R1	4	$1/(0,78+R_{AT})^{(6)}$	54 ⁽⁶⁾ (55) ⁽⁶⁾	349	51 (52)
		R2 o B3	5				
F 6.16 PS		R1 o B3	5	$1/(0,95+R_{AT})^{(6)}$	54 ⁽⁶⁾ (55) ⁽⁶⁾	349	51 (52)
F 6.21 PS		R1	3	$1/(0,85+R_{AT})$	45 (46) [47 (48)]	191 215	42 (43) [44 (45)]
		R2 o B3	5				
F 6.22 PS		R1	4	$1/(1,02+R_{AT})$	47 (48) [50 (51)]	191 215	44 (45) [47 (48)]
		R2 o B3	5				
F 6.25 PS		R1	4	$1/(1,10+R_{AT})$	51 (52) [53 (54)]	289 331	48 (49) [50 (51)]
		R2 o B3	5				

4.2.7 Fábrica con revestimiento discontinuo, con cámara de aire ventilada, aislamiento por el interior

FACHADA Hoja principal de ladrillo/bloque con revestimiento discontinuo							
CON CÁMARA DE AIRE VENTILADA							
Aislamiento por el interior							
<p>RE revestimiento exterior discontinuo</p> <p>HP hoja principal</p> <p>LC fábrica de ladrillo cerámico (perforado o macizo, cuando el RE se fije mecánicamente)</p> <p>BH fábrica de bloque de hormigón⁽⁸⁾</p> <p>BC fábrica de bloque cerámico</p> <p>LHO fábrica de ladrillo perforado de hormigón⁽⁸⁾</p> <p>BP fábrica de bloque de picón⁽⁶⁾</p> <p>C cámara de aire ventilada</p> <p>AT aislante no hidrófilo</p> <p>HI hoja interior</p> <p>TC -7 PANELSYSTEM TC-7</p> <p>RM revestimiento intermedio (opcional)</p>							
Código	Sección	Datos entrada	HS	HE ⁽²⁾	HR ⁽³⁾		
		RE	GI ⁽¹⁾	U (W/m ² K)	R _A (dBA)	m (kg/m ²)	R _{A,tr} (dBA)
F 7.1 PS		-	5	$1/(0,62+R_{AT})$	43 [49]	204 [216]	40 [46]
F 7.3 PS		R2 o B3	5	$1/(0,80+R_{AT})$	43 [44]	204 [216]	40 [41]
F 7.5 PS		-	5	$1/(0,62+R_{AT})^{(4)}$	46 ⁽⁴⁾	253 ⁽⁴⁾	43 ⁽⁴⁾
F 7.8 PS		R2 o B3	5	$1/(0,81+R_{AT})^{(4)}$	46 ⁽⁴⁾	253 ⁽⁴⁾	43 ⁽⁴⁾

9.2.8 Ensayos realizados para observar la viabilidad de las uniones con cercos y cabeceros con espuma de poliuretano

Ensayos realizados siguiendo las indicaciones de la "Guía Técnica UEAtc para la Evaluación Técnica de los Choques sobre Obras Verticales Opacas" y la Guía EOTA 003 "Kits de particiones interiores".

9.2.8.1 Comportamiento bajo la acción de choque de cuerpo blando sobre puerta

Llevado a cabo con un cuerpo de choque de 50 kg e impactos de 600 J sobre una probeta de tabiquería compuesta por 5 paneles de yeso reforzado con fibra de vidrio, con una puerta en el centro del conjunto.

Tanto el cerco de la puerta como el cabecero sobre el mismo estaban sujetos con espuma de poliuretano.

Realizados tres impactos de 600 J sobre la puerta, sólo se pudo apreciar la rotura de la misma sin que constatar la rotura de los paneles ni de la fijación del precerco con la tabiquería, quedando el cabecero sujeto por la espuma de poliuretano.

9.2.8.2 Ensayo de resistencia al cizallamiento

Ensayo realizado para determinar la resistencia al cizallamiento y su durabilidad en ambientes con alta temperatura y humedad elevada. Para ello se dispusieron 20 probetas de 30 x 30 x 7 cm, con un tramo de precerco de madera de 3 cm de espesor recibido contra la tabiquería por un cordón continuo de espuma de poliuretano de 1 cm de espesor.

Para la evaluación de la durabilidad se sometieron a envejecimiento series de 5 probetas a 10, 20 y 30 días en cámara a 40 °C y 95 % de humedad.

Resultados del ensayo:

Q inicial	Q 10 días	Q 20 días	Q 30 días
1,438 kN	1,240 kN	1,328 kN	1,260 kN

La variación producida se considera aceptable.

10. EVALUACIÓN DE LA APTITUD DE EMPLEO Y DURABILIDAD

10.1 Resistencia mecánica y estabilidad

El Sistema de tabiquería PANELSYSTEM no compromete la estabilidad estructural del edificio al que se incorpora.

10.2 Seguridad en caso de incendio

10.2.1 Reacción al Fuego

De acuerdo con el R.D. 312/2005 modificado por el R.D. 110/2008, los paneles (unidades) de yeso

y adhesivos de yeso, se consideran como Euroclase A1 sin necesidad de ensayo.

10.2.2 Resistencia al fuego

Si procede, deberá satisfacerse las condiciones EI (en minutos) que se establecen en la tabla 1.2 de la Sección 1 del Documento básico DB SI del CTE para los elementos separadores de sectores de incendio, y asimismo las condiciones de integridad (E) y Aislamiento (I) que se indican en la tabla 2.2 para las paredes de locales y zonas de riesgo especial.

Los valores que proporcionan los tabiques TC-7 y TC-9 se dan en el apartado 9.2.7. Para el cumplimiento de exigencias superiores se deberá realizar una evaluación complementaria.

10.3 Seguridad de Utilización

La ejecución de las uniones suelo-techo y el encuentro con la estructura vertical debe ser objeto de un seguimiento especial durante la ejecución y el cálculo, considerando que el espesor estándar de la banda de poliestireno que suministra el fabricante es de 1 cm.

El fabricante recomienda que, para la longitud máxima entre arriostramientos transversales, se tomen los valores de 8 y 10 m, para los espesores de 7 y 9 cm, respectivamente.

La seguridad de los ocupantes está amparada bajo la acción de los choques accidentales producidos por personas o muebles, ya que el tabique resistió sin deformación residual permanente y sin desorden aparente, a los choques de cuerpo blando y duro.

Los valores obtenidos en los ensayos de choque de cuerpo blando y flexión, permiten también satisfacer la exigencia del CTE DB-SE AE en su punto 3.2. *Acciones sobre barandillas y elementos divisorios.*

Para las cargas verticales excéntricas el tabique permite el montaje de mobiliario y aparatos corrientes de uso doméstico en cocinas, aseos, etc., al superar la exigencia de los 4.000 N actuando paralelamente al mismo.

Asimismo permite suspender, puntualmente, otros objetos, ya que la fijación de un tornillo con taco convencional aguantó 50 kp.

10.4 Higiene, salud y medio ambiente

10.4.1 Protección frente a la humedad

En lo que respecta a su comportamiento frente al agua, conviene señalar la sensibilidad del tabique a la humedad.

En las zonas húmedas y en el caso particular de utilización de revestimientos cerámicos, estos se

Las casillas con guión se refieren a elementos de separación verticales que no necesitan trasdosados.

En el caso de elementos de separación verticales de tipo 1, el trasdosado debe aplicarse por ambas caras del elemento constructivo base. Si no fuera posible trasdosar por ambas caras y la transmisión de ruido se produjera principalmente a través del elemento de separación vertical, como es el caso de cajas de escaleras o de ascensores, podrá trasdosarse el elemento constructivo base solamente por una cara, incrementándose en 4 dBA la mejora ΔR_A del trasdosado especificado en la tabla.

En el caso de que una unidad de uso no tuviera tabiquería interior, como por ejemplo un aula, puede elegirse cualquier elemento de separación vertical de la tabla.

De acuerdo con lo establecido en el apartado 2.1.1 del DB HR, las puertas que comunican un recinto protegido de una unidad de uso con una zona común, deben tener un índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A , no menor que 30 dBA y si comunican un recinto habitable de una unidad de uso con una zona común, su índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A no será menor que 20 dBA.

Con objeto de limitar las transmisiones indirectas por flancos y en el caso de que algún elemento de separación vertical acometiera a una medianería o a una fachada de una hoja, ventilada o fachada con el aislamiento por el exterior, debe cumplirse:

En el caso de los elementos:

TC7 + LA2 + LM40 + LA2 + TC9 y TC9 + LA2 + LM40 + LA2 + TC9 éstos no se podrán usar para recintos de instalaciones o actividad siempre interponiendo bandas en todo el perímetro de dichos elementos de separación vertical, tal y como describe el DB HR.

La solución de medianera:

TC7+MA2+LM40+MA2+TC9 se puede utilizar para recintos de instalaciones o actividad, ya que supera los 50 dBA requeridos como aislamiento a ruido aéreo para recintos colindantes de esta naturaleza con recintos protegidos.

En el caso de elementos de separación verticales de tipo 1, el índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A , de la medianería o la fachada debe ser al menos 42 dBA y su masa por unidad de superficie, m, al menos 130 kg/m².

En el caso de elementos de separación verticales de tipo 2 cuya masa por unidad de superficie, m, sea menor que 170 kg/m², no está permitido que

éstos acometan a medianerías o a fachadas de una sola hoja, ventiladas o que tengan el aislamiento por el exterior.

En el caso de elementos de separación verticales de tipo 2 cuya masa por unidad de superficie, m, sea mayor que 170 kg/m², el índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A , de la medianería o la fachada a la que acometen debe ser al menos 50 dBA y su masa por unidad de superficie, m, al menos 225 kg/m²;

2. Condiciones mínimas de los elementos de separación horizontales.

La tabla 5 expresa los valores mínimos que deben cumplir los elementos de separación horizontales. Es equivalente a la tabla 3.3 del DB HR, pero particularizada para la tabiquería TC-7 y TC-9 de PANELSYSTEM.

Los forjados que delimitan superiormente una unidad de uso deben disponer de un suelo flotante y, en su caso, de un techo suspendido con los que se cumplan los valores de mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, ΔR_A y de reducción del nivel global de presión de ruido de impactos, ΔL_w especificados en la tabla 6.

Los forjados que delimitan inferiormente una unidad de uso y la separan de una zona común, un recinto de instalaciones o un recinto de actividad deben disponer de una combinación de suelo flotante y techo suspendido con los que se cumplan los valores de mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, ΔR_A .

Además, para limitar la transmisión de ruido de impactos, en el forjado de una unidad de uso, de un recinto de actividad o de instalaciones o una zona común colindantes horizontalmente con unidades de uso diferentes o con una arista horizontal común con las mismas deben disponerse suelos flotantes cuya reducción del nivel global de presión de ruido de impactos, ΔL_w , sea la especificada en la tabla 6 (Ver Esquema en página 17).

En el caso de que una unidad de uso no tuviera tabiquería interior, como por ejemplo un aula, puede elegirse cualquier elemento de separación horizontal de la tabla 6.

Entre paréntesis figuran los valores que deben cumplir los elementos de separación horizontales entre una unidad de uso y un recinto de instalaciones o de actividad.

Tabla 6. Parámetros acústicos de los componentes de los elementos de separación horizontales

Forjado ⁽¹⁾		Suelo flotante y techo suspendido para tabiquería PANELSYSTEM TC-7 y TC-9		
		Suelo flotante ⁽²⁾⁽³⁾		Techo suspendido ⁽⁵⁾
m kg/m ²	R _A dBA	ΔL _w dB	ΔR _A dBA	ΔR _A dBA
175	44	26 [27] ⁽⁶⁾	3 15	15 4
200	45	25 [26] ⁽⁶⁾	2 8 15	15 5 2
		(30)[31] ⁽⁶⁾	(14) (15) (19)	(15) (14) (11)
225	47	24	0 2 5 15 17	15 8 5 1 0
		(29)	(9) (15) (19)	(15) (9) (7)
250	49	22	0 2 9	10 5 0
		(27)	(6) (9)	(15) (10)
300 ⁽⁴⁾	52	16 [19] ⁽⁶⁾	0 2 4	4 1 0
		(21)[24] ⁽⁶⁾	(3) (7) (8) (9)	(15) (6) (5) (4)
350 ⁽⁴⁾	54	15 [17] ⁽⁶⁾	0	0
		(19)[22] ⁽⁶⁾	(1) (4) (5) (8)	(11) (5) (4) (2)
400 ⁽⁴⁾	57	12 [15] ⁽⁶⁾	0	0
		(17)[20] ⁽⁶⁾	(0) (4) (6) (10)	(6) (1) (0) (0)
450	58	10 [13] ⁽⁶⁾	0	0
		(15)[18] ⁽⁶⁾	(0) (3) (6)	(3) (0) (0)
500	60	10 [12] ⁽⁶⁾	0	0
		(15)[17] ⁽⁶⁾	(0) (3)	(0) (0)

(1) Los forjados deben cumplir simultáneamente los valores de masa por unidad de superficie, m y de índice global de reducción acústica ponderado A, R_A.

(2) Los suelos flotantes deben cumplir simultáneamente los valores de reducción del nivel global de presión de ruido de impactos, ΔL_w, y de mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, ΔR_A.

(3) Los valores de mejora del aislamiento a ruido aéreo, ΔR_A, y de reducción de ruido de impactos, ΔL_w, corresponden a un único suelo flotante; la adición de mejoras sucesivas, una sobre otra, en un mismo lado no garantiza la obtención de los valores de aislamiento.

(4) En el caso de forjados con piezas de entreligado de poliestireno expandido (EPS), el valor correspondiente a ΔL_w debe incrementarse 4dB.

(5) Los valores de mejora del aislamiento a ruido aéreo, ΔR_A, corresponden a un único techo suspendido; la adición de mejoras sucesivas, una bajo otra, en un mismo lado no garantiza la obtención de los valores de aislamiento.

(6) Las soluciones con paréntesis en ΔR_A del suelo flotante y del techo suspendido son de aplicación para recintos de instalaciones o recintos de actividad, colindantes inferiormente con recintos protegidos.

Las soluciones con paréntesis en ΔL_w y ΔR_A del suelo flotante y ΔR_A del techo suspendido son de aplicación para recintos de instalaciones o recintos de actividad, superpuestos a recintos protegidos.

Las soluciones entre corchetes responden a los valores del parámetro ΔL_w de suelo flotante que, según el tipo de forjado, cumplen el requerimiento de aislamiento a ruido de impactos para elementos horizontales, cuyos recintos tienen como parte de elementos verticales tabiquería PANELSYSTEM.

12. OBSERVACIONES DE LA COMISIÓN DE EXPERTOS⁽¹⁾

Las principales Observaciones de la Comisión de Expertos⁽²⁾ fueron las siguientes:

- Se recomienda realizar un estudio previo a la ejecución de las rozas, de la localización y la geometría de los conductos de las instalaciones, teniendo en cuenta las indicaciones que a tal fin se citen en sus respectivos reglamentos. A título de ejemplo se recuerda el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. En todo caso la ejecución de las rozas no comprometerá la estabilidad del tabique. Dichas rozas se realizarán con métodos no percusivos.
- Como para todo sistema de particiones interiores, se recomienda estudiar la rigidez de los forjados y las deformaciones previstas en el proceso de construcción, y su influencia en relación con la rigidez del tabique.
- Se prestará atención a que, durante la ejecución de la obra, quede también garantizada la estabilidad del tabique.

⁽¹⁾ La Comisión de Expertos de acuerdo con el Reglamento de concesión del DIT (O.M. de 23/12/1988), tiene como función, asesorar sobre el plan de ensayos y el procedimiento a seguir para la evaluación técnica propuestos por el IETcc.

Los comentarios y observaciones realizadas por los miembros de la Comisión, no suponen en sí mismos aval técnico o recomendación de uso preferente del sistema evaluado.

La responsabilidad de la Comisión de Expertos no alcanza los siguientes aspectos:

- a) Propiedad intelectual o derechos de patente del producto o sistema.
- b) Derechos de comercialización del producto o sistema.
- c) Obras ejecutadas o en ejecución en las cuales el producto o sistema se haya instalado, utilizado o mantenido, ni tampoco sobre su diseño, métodos de construcción ni capacitación de operarios intervinientes.

⁽²⁾ La Comisión de Expertos estuvo formada por representantes de las siguientes Entidades:

- Asociación Nacional de empresas de Rehabilitación y Reforma (AENERR).
- E.T.S. de Ingeniería Civil.
- Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc).

FIGURA 3. SECCIÓN HORIZONTAL DE ENCUENTRO CON FACHADA, CON TRASDOSADO AL INTERIOR

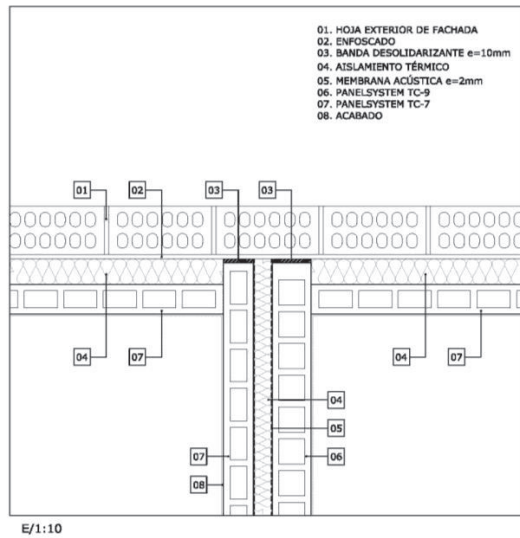


FIGURA 4. SECCIÓN HORIZONTAL DE ENCUENTRO CON FACHADA DE UNA HOJA, VENTILADA O CON AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR

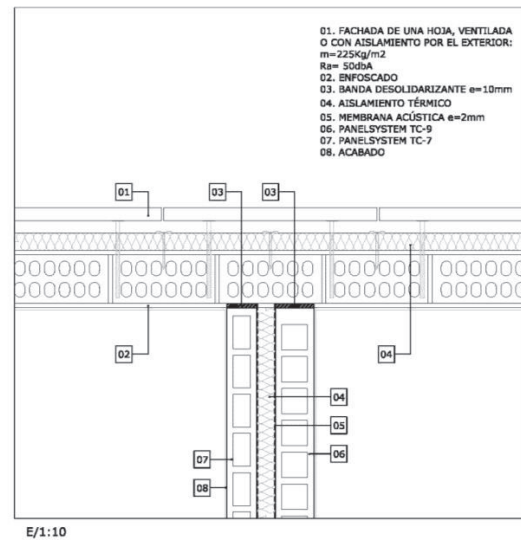


FIGURA 5a. SECCIÓN VERTICAL DE ENCUENTRO DE MEDIANERÍA CON SUELO (SOBRE FORJADO)

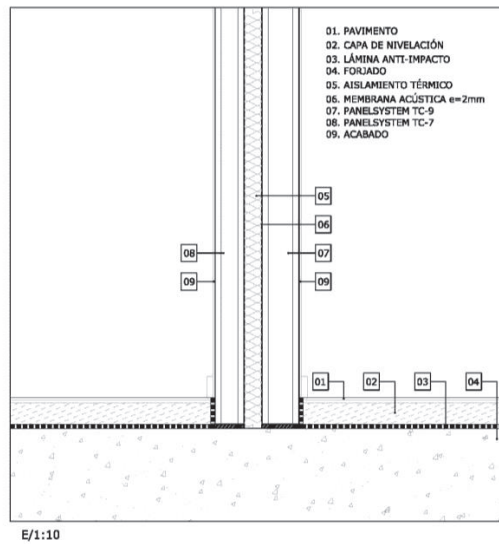


FIGURA 5b. SECCIÓN VERTICAL DE ENCUENTRO DE PANEL CON SUELO (SOBRE FORJADO)

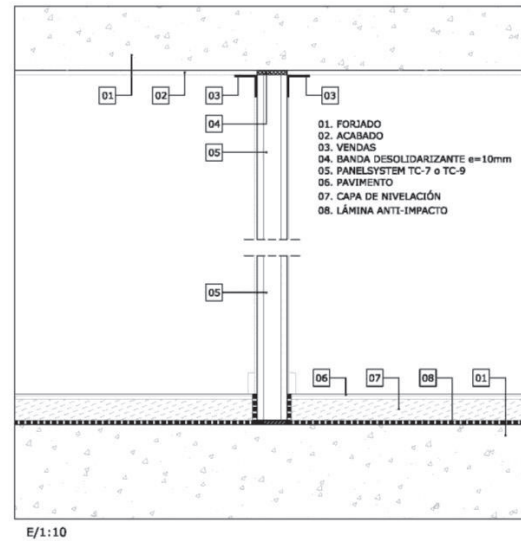


FIGURA 5c. SECCIÓN VERTICAL DE ENCUENTRO DE PANEL CON SUELO TERMINADO EN EL INTERIOR DE VIVIENDA Y RECINTOS PROTEGIDOS

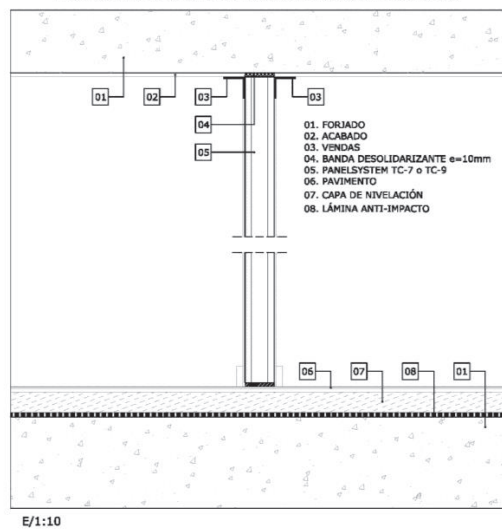


FIGURA 6. SECCIÓN HORIZONTAL DE UN ENCUENTRO ENTRE UN ELEMENTO DE SEPARACIÓN VERTICAL Y LOS TABIQUES

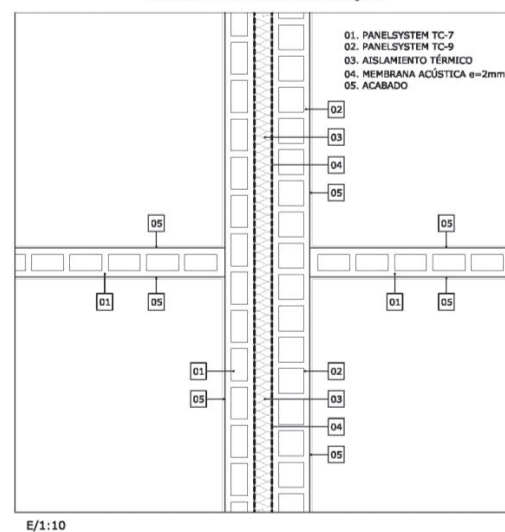


FIGURA 9. DETALLE PARA ESCALERA

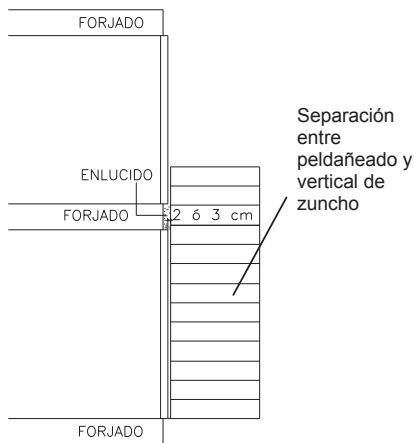


FIGURA 9a. DETALLE PARA ESCALERA

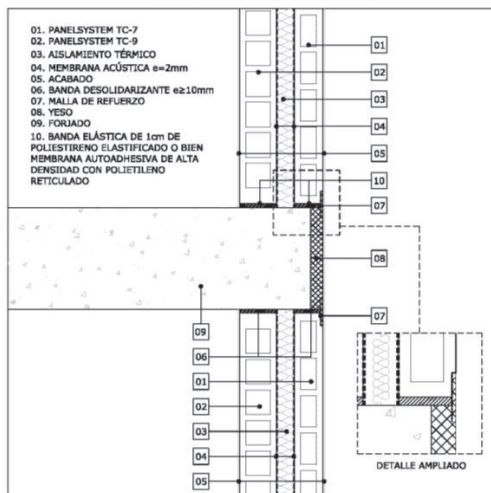


FIGURA 9b. DETALLE PARA ESCALERA

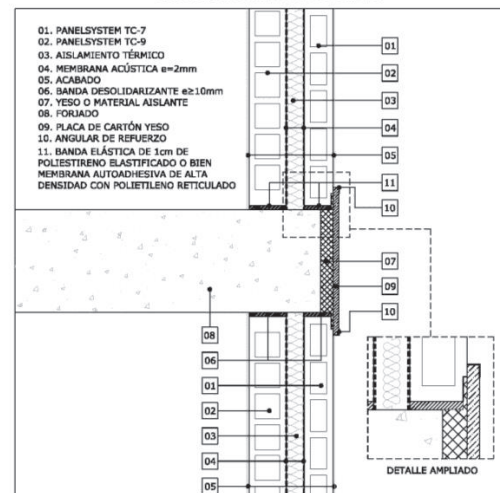
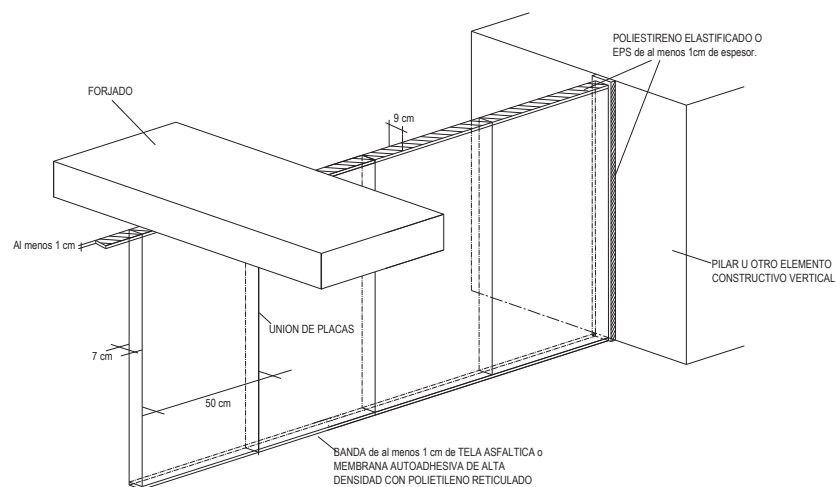


FIGURA 10. ESQUEMA DE UNIÓN CON SUELO-TECHO-PILAR



4.2 Fachadas

Consideraciones previas	
C	<p>Cámara de aire ventilada: cámara de aire ventilada de espesor ≥ 3 cm y ≤ 10 cm con un sistema de recogida y evacuación del agua; aberturas de ventilación con una anchura > 5 mm.</p> <p>Las aberturas de ventilación se repartirán al 50 % entre la parte superior y la inferior</p>
B3	<p>Barrera de resistencia muy alta a la filtración: Se considera como tal los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - revestimiento continuo intermedio en la cara interior de la hoja principal con estanquidad al agua suficiente para que el agua de filtración, no entre en contacto con la hoja del cerramiento dispuesta inmediatamente por el interior del mismo, con adherencia al soporte suficiente para garantizar su estabilidad, con permeabilidad suficiente al vapor para evitar su deterioro como consecuencia de una acumulación de vapor entre él y la hoja principal, adaptación a los movimientos del soporte y comportamiento muy bueno frente a la fisuración, de forma que no se fisure debido a los esfuerzos mecánicos producidos por el movimiento de la estructura, por los esfuerzos térmicos relacionados con el clima y con la alternancia día-noche, ni por la retracción propia del material constituyente del mismo. - estabilidad frente a los ataques físicos, químicos y biológicos que evite la degradación de su masa. - una cámara de aire ventilada y un aislante no hidrófilo de las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> - la cámara debe disponerse por el lado exterior del aislante; - debe disponerse en la parte inferior de la cámara y cuando esta quede interrumpida, un sistema de recogida y evacuación del agua filtrada a la misma; - el espesor de la cámara debe estar comprendido entre 3 y 10 cm; - deben disponerse aberturas de ventilación cuya área efectiva total sea como mínimo igual a 120 cm^2 por cada 10 m^2 de paño de fachada entre forjados repartidas al 50 % entre la parte superior y la inferior. Pueden utilizarse con aberturas rejillas, llagas desprovistas de mortero, juntas abiertas en los revestimientos discontinuos que tengan una anchura mayor que 5 mm u otra solución que produzca el mismo efecto.
R1	<p>Revestimiento exterior con una resistencia media a la filtración. Se considera que proporcionan esta resistencia los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - revestimientos continuos de las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> - espesor comprendido entre 10 y 15 mm, salvo los acabados con una capa plástica delgada; - adherencia al soporte suficiente para garantizar su estabilidad; - permeabilidad al vapor suficiente para evitar su deterioro como consecuencia de una acumulación de vapor entre él y la hoja principal; - adaptación a los movimientos del soporte y comportamiento aceptable frente a la fisuración; - cuando se dispone en fachadas con el aislante por el exterior de la hoja principal, compatibilidad química con el aislante y disposición de una armadura constituida por una malla de fibra de vidrio o de poliéster. - revestimientos discontinuos rígidos pegados de las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> - de piezas menores de 300 mm de lado; - fijación al soporte suficiente para garantizar su estabilidad; - disposición en la cara exterior de la hoja principal de un enfoscado de mortero; - adaptación a los movimientos del soporte.
R2	<p>Revestimiento exterior con una resistencia alta a la filtración. Se considera que proporcionan esta resistencia los revestimientos discontinuos rígidos, fijados mecánicamente dispuestos de tal manera que tengan las mismas características establecidas para los discontinuos de R1, salvo la del tamaño de las piezas.</p>
R3	<p>Revestimiento exterior con una resistencia muy alta a la filtración. Se considera que proporcionan esta resistencia los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - revestimientos continuos de las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> - estanquidad al agua suficiente para que el agua de filtración no entre en contacto con la hoja del cerramiento dispuesta inmediatamente por el interior del mismo; - adherencia al soporte suficiente para garantizar su estabilidad; - permeabilidad al vapor suficiente para evitar su deterioro como consecuencia de una acumulación de vapor entre él y la hoja principal; - adaptación a los movimientos del soporte y comportamiento muy bueno frente a la fisuración, de forma que no se fisure debido a los esfuerzos mecánicos producidos por el movimiento de la estructura, por los esfuerzos térmicos relacionados con el clima y con la alternancia día-noche, ni por la retracción propia del material constituyente del mismo; - estabilidad frente a los ataques físicos, químicos y biológicos que evite la degradación de su masa. - revestimientos discontinuos fijados mecánicamente de alguno de los siguientes elementos dispuestos de tal manera, que tengan las mismas características establecidas para los discontinuos de R1, salvo la del tamaño de las piezas: <ul style="list-style-type: none"> - escamas: elementos manufacturados de pequeñas dimensiones (pizarra, piezas de fibrocemento, madera, productos de barro); - lamas: elementos que tienen una dimensión pequeña y la otra grande (lamas de madera, metal); - placas: elementos de grandes dimensiones (fibrocemento, metal); - sistemas derivados: sistemas formados por cualquiera de los elementos discontinuos anteriores y un aislamiento térmico.
N1	<p>Revestimiento intermedio de resistencia media a la filtración. Se considera como tal un enfoscado de mortero con un espesor mínimo de 10 mm.</p>
N2	<p>Revestimiento intermedio de resistencia alta a la filtración. Se considera como tal un enfoscado de mortero con aditivos hidrofugantes con un espesor mínimo de 15 mm o un material adherido, continuo, sin juntas e impermeable al agua del mismo espesor.</p>
J1	<p>Juntas de resistencia media a la filtración. Se consideran como tales las juntas de mortero sin interrupción excepto, en el caso de las juntas de los bloques de hormigón, que se interrumpen en la parte intermedia de la hoja.</p>
J2	<p>Juntas de resistencia alta a la filtración. Se consideran como tales las juntas de mortero con adición de un producto hidrófugo, de las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - sin interrupción excepto, en el caso de las juntas de los bloques de hormigón, que se interrumpen en la parte intermedia de la hoja; - juntas horizontales llagueadas o de pico de flauta; - cuando el sistema constructivo así lo permita, con un rejuntado de un mortero más rico.

Continuación

F 1.9 PS		J1	N1	2	$1/(0,73+R_{AT})$	48	231	45
		-	B3	5				
F 1.10 PS		J1	N1	3	$1/(0,90+R_{AT})$	48	231	45
		-	B3	5				
F1.14PS		J1	N1	2	$1/(0,65+R_{AT})$	47	226	44
		J2	N2	3 ⁽²⁾				
		-	B3	5				
F1.15 PS		J1	N1	3	$1/(0,82+R_{AT})$	47	226	44
		J2	N2	4 ⁽²⁾				
		-	B3	5				

(1) Cuando el aislante de la fachada sea hidrófilo, el GI disminuye un grado excepto en las soluciones que cumplan la condición B3.

(2) Debe utilizarse ladrillo cerámico de higroscopicidad baja (succión $\leq 4,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}$ según UNE-EN-772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006).

(3) Cuando la higroscopicidad de la hoja principal sea baja de acuerdo con la sección HS-1 (succión $\leq 4,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}$ según UNE-EN 772-11:2001 y UNE EN 772-11:2001/A1:2006), entonces el GI aumenta un grado.

(4) El factor de temperatura de la superficie interior, f_{Rsi} se calculará según la siguiente expresión: $f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25$.

(5) Valores de R_A y $R_{A,tr}$ válidos para fachadas en las que indistintamente se dispongan o no bandas elásticas en el perímetro de la hoja interior.

(6) En el caso de elementos de fábrica de ladrillo aparecen dos valores de $m R_{A,tr}$ y de R_A , el primero de ellos es un valor mínimo y el segundo, que figura entre corchetes, es un valor medio.

(7) El poliuretano proyectado con un espesor medio $\geq 40 \text{ mm}$ y una densidad $\geq 35 \text{ kg/m}^3$ puede considerarse revestimiento de tipo B3, además de ser aislante térmico.

(9) De acuerdo con lo especificado en el DB HS 1, se consideran cámaras no ventiladas todas las cámaras con un área de ventilación efectiva menor que 120 cm^2 por cada 10 m^2 de fachada entre forjados, es decir, con una superficie de aberturas de 3600 mm^2 . Cuando una fachada disponga de una cámara con un área de ventilación efectiva comprendida entre $500 \text{ mm}^2 \leq A_{\text{efectiva}} < 1500 \text{ mm}^2$, debe procederse de la siguiente manera:

HE Para obtener U: Debe restarse 0,09 al denominador indicado en las tablas. Por ejemplo: $1/(0,52+R_{AT}-0,09)$.

HR Para obtener RA: Debe restarse 1 dB al valor de RA expresado en la tabla.

Cuando una fachada disponga de una cámara con un área de ventilación efectiva comprendida entre $1500 \text{ mm}^2 \leq A_{\text{efectiva}} < 3600 \text{ mm}^2$, debe procederse de la siguiente manera:

HR Para obtener RA: Deben restarse 2 dB al valor de RA expresado en la tabla.

(10) Cuando la hoja principal sea de bloque o ladrillo de hormigón, salvo cuando sea curado en autoclave, el valor de la absorción de los bloques o ladrillos medido según el ensayo de UNE 41170:1989EX debe ser como máximo $0,32 \text{ g/cm}^3$.

Cuando la hoja principal sea de bloque o ladrillo de hormigón cara vista, el valor medio del coeficiente de succión de los bloques o ladrillos medido según el ensayo de UNE-EN 772 11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006 y para un tiempo de 10 minutos debe ser como máximo $3 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$ y el valor individual del coeficiente debe ser como máximo $4,2 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$.

4.2.3 Fábrica con revestimiento continuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior

FACHADA Hoja principal de fábrica con revestimiento continuo							
SIN CÁMARA O CON CÁMARA DE AIRE NO VENTILADA							
Aislamiento por el interior							
<p>RE revestimiento exterior continuo</p> <p>R1 resistencia media a la filtración</p> <p>R3 resistencia muy alta a la filtración</p> <p>HP hoja principal</p> <p>LC fábrica de ladrillo cerámico (perforado o macizo)</p> <p>BH fábrica de bloque de hormigón⁽¹⁰⁾</p> <p>BC fábrica de bloque cerámico</p> <p>LHO fábrica de ladrillo perforado de hormigón⁽¹⁰⁾</p> <p>BP fábrica de bloque de picón⁽⁷⁾</p> <p>RM revestimiento intermedio (opcional)</p> <p>B3 resistencia muy alta a la filtración</p> <p>C cámara de aire no ventilada⁽⁹⁾</p> <p>SP separación de 10 mm</p> <p>AT aislante no hidrófilo</p> <p>HI hoja interior</p> <p>TC -7 PANELSYSTEM TC-7</p>							
Código	Sección	Datos entrada	HS	HE ⁽²⁾	HR		
		RE	GI ⁽¹⁾	U (W/m ² K)	RA ⁽³⁾⁽⁴⁾ (dBA)	m ⁽⁴⁾ (kg/m ²)	RA,if ⁽³⁾⁽⁴⁾ (dBA)
F 3.1 PS		R1	3	$1/(0,72+R_{AT})$	44	182	41
		R3 o B3	5		[45]	194	[42]
F 3.2 PS		R1	4	$1/(0,89+R_{AT})$	44	182	41
		R3 o B3	5		[45]	194	[42]
F 3.5 PS		R1	3	$1/(0,89+R_{AT})$	52	317	49
		R2, R3 o B3	5		[53]	346	[50]
F 3.6 PS		R1 o B3	5	$1/(1,06+R_{AT})$	52	317	49
					[53]	346	[50]

Código	Sección	Datos entrada	HS	HE ⁽²⁾	HR		
		RE	GI ⁽¹⁾	U (W/m ² K)	R _A ⁽³⁾⁽⁴⁾ (dBA)	m ⁽⁴⁾ (kg/m ²)	R _{A,tr} ⁽³⁾⁽⁴⁾ (dBA)
F 3.26 PS		R1 o B3	5	1/(1,28+R _{AT})	50	267	47
					[52]	309	[49]
F 3.29 PS		R1	3	1/(0,65+R _{AT}) ⁽⁵⁾	47 ⁽⁵⁾	226	44 ⁽⁵⁾
		R3 o B3	5			205	
F 3.30 PS		R1	4	1/(0,82+R _{AT}) ⁽⁵⁾	47 ⁽⁵⁾	226	44 ⁽⁵⁾
		R3 o B3	5			205	

⁽¹⁾ Cuando el aislante sea hidrófilo el GI disminuye un grado, excepto cuando se cumplan las condiciones R3 o B3.

⁽²⁾ El factor de temperatura de la superficie interior, f_{Rsi} se calculará según la siguiente expresión:

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25$$

⁽³⁾ Valores de R_A y $R_{A,tr}$ válidos para fachadas en las que indistintamente se dispongan o no bandas elásticas en el perímetro de la hoja interior.

⁽⁴⁾ En el caso de elementos de fábrica de ladrillo aparecen dos valores de m , de R_A , y $R_{A,tr}$ el primero de ellos es un valor mínimo y el segundo, que figura entre corchetes, es un valor medio.

⁽⁵⁾ Valores de U , R_A , y $R_{A,tr}$ para fábricas de bloque o ladrillo de hormigón convencional o de áridos densos.

⁽⁷⁾ Valores válidos para bloques de picón de 25 cm de espesor con dos o tres cámaras.

⁽⁹⁾ De acuerdo con lo especificado en el DB HS 1, se consideran cámaras no ventiladas todas las cámaras con un área de ventilación efectiva menor que 120 cm² por cada 10 m² de fachada entre forjados, es decir, con una superficie de aberturas de 3600 mm². Cuando una fachada disponga de una cámara con un área de ventilación efectiva comprendida entre 500 mm² ≤ $A_{efectiva}$ < 1500 mm², debe procederse de la siguiente manera:

HE Para obtener U : Debe restarse 0,09 al denominador indicado en las tablas. Por ejemplo: 1/(0,52+R_{AT}-0,09)

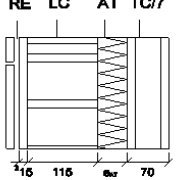
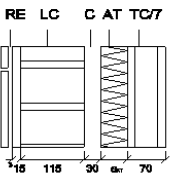
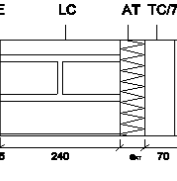
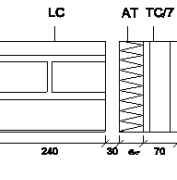
HR Para obtener R_A y $R_{A,tr}$: Debe restarse 1 dB al valor de R_A expresado en la tabla.

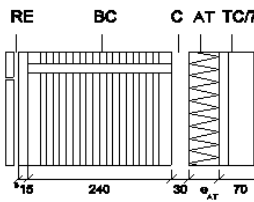
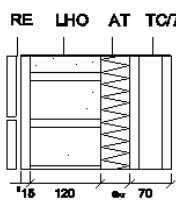
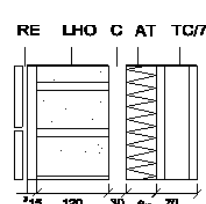
Cuando una fachada disponga de una cámara con un área de ventilación efectiva comprendida entre 1500 mm² ≤ $A_{efectiva}$ < 3600 mm², debe procederse de la siguiente manera:

HR Para obtener R_A y $R_{A,tr}$: Deben restarse 2 dB al valor de R_A expresado en la tabla.

⁽¹⁰⁾ Cuando la hoja principal sea de bloque o ladrillo de hormigón, salvo cuando sea curado en autoclave, el valor de la absorción de los bloques o ladrillos medido según el ensayo de UNE 41170:1989EX debe ser como máximo 0,32 g/cm³.

4.2.6 Fábrica con revestimiento discontinuo, sin cámara o con cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior

FACHADA Hoja principal de fábrica con revestimiento discontinuo							
SIN CÁMARA O CON CÁMARA DE AIRE NO VENTILADA							
Aislamiento por el interior							
<p>RE revestimiento exterior discontinuo</p> <p>R1 resistencia media a la filtración</p> <p>R2 resistencia alta a la filtración</p> <p>R3 resistencia muy alta a la filtración</p> <p>HP hoja principal</p> <p>LC fábrica de ladrillo cerámico (perforado o macizo, cuando el RE se fije mecánicamente)</p> <p>BH fábrica de bloque de hormigón⁽¹¹⁾</p> <p>BC fábrica de bloque cerámico</p> <p>LHO fábrica de ladrillo perforado de hormigón⁽¹¹⁾</p> <p>BP fábrica de bloque de picón⁽⁹⁾</p> <p>RM revestimiento intermedio (opcional)</p> <p>B3 resistencia muy alta a la filtración</p> <p>C cámara de aire no ventilada⁽¹⁰⁾</p> <p>SP separación de 10 mm</p> <p>AT aislante</p> <p>h hidrófilo</p> <p>nh no hidrófilo</p> <p>HI hoja interior</p> <p>TC -7 PANELSYSTEM TC-7</p>							
Código	Sección (mm)	Datos entrada	HS	HE ⁽²⁾	HR ⁽³⁾		
		RE	GI ⁽¹⁾	U (W/m ² K)	R _A ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ (dBA)	m ⁽⁴⁾ (kg/m ²)	R _{A, tr} ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ (dBA)
F 6.1 PS		R1	3	$1/(0,71+R_{AT})$	46 (47) [47 (48)]	204 216	43 (44) [44 (45)]
		R2 o B3	5				
F 6.2 PS		R1	4	$1/(0,88+R_{AT})$	46 (47) [47 (48)]	204 216	43 (44) [44 (45)]
		R2 o B3	5				
F 6.5 PS		R1	4	$1/(0,88+R_{AT})$	52 (53) [53 (54)]	339 368	49 (50) [50 (51)]
		R2 o B3	5				
F 6.6 PS		R1 o B3	5	$1/(1,05+R_{AT})$	52 (53) [53 (54)]	339 368	49 (50) [50 (51)]

Código	Sección (mm)	Datos entrada	HS	HE ⁽²⁾	HR ⁽³⁾		
		RE	GI ⁽¹⁾	U (W/m ² K)	R _A ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ (dBA)	m ⁽⁴⁾ (kg/m ²)	R _{A,tr} ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ (dBA)
F 6.26 PS		R1 o B3	5	1/(1,27+R _{AT})	51 (52) [53 (54)]	289 331	48 (49) [50 (51)]
F6.29 PS		R1	3	1/(0,64+R _{AT}) ⁽⁶⁾	53 (54) ⁽⁶⁾	343 ⁽⁶⁾	50 (51) ⁽⁶⁾
		R2 o B3	5				
F6.30 PS		R1	4	1/(0,81+R _{AT}) ⁽⁶⁾	53 (54) ⁽⁶⁾	343 ⁽⁶⁾	50 (51) ⁽⁶⁾
		R2 o B3	5				

⁽¹⁾ Cuando el aislante sea hidrófilo el GI disminuye un grado, excepto cuando se cumplan las condiciones R3 o B3, o cuando la fachada tenga cámara o separación y se cumpla la condición R2.

⁽²⁾ El factor de temperatura de la superficie interior, f_{Rsi} se calculará según la siguiente expresión: $f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25$.

⁽³⁾ Valores de R_A y $R_{A,tr}$ válidos para fachadas en las que indistintamente se dispongan o no bandas elásticas en el perímetro de la hoja hoja interior.

⁽⁴⁾ En el caso de elementos de fábrica de ladrillo aparecen dos valores de m, R_A , y $R_{A,tr}$, el primero de ellos es un valor mínimo y el segundo, que figura **entre corchetes**, es un valor medio.

⁽⁵⁾ El valor **entre paréntesis** indica el índice de reducción acústica, R_A , en el caso de que el aplacado sea pegado. El resto de valores se aplican a fábricas en las que el aplacado está fijado mecánicamente.

⁽⁶⁾ Valores de U, m, R_A y $R_{A,tr}$ para fábricas de bloque o ladrillo de hormigón convencional o de áridos densos.

⁽⁹⁾ Valores válidos para bloques de picón de 25 cm de espesor con dos o tres cámaras.

⁽¹⁰⁾ De acuerdo con lo especificado en el DB HS 1, se consideran cámaras no ventiladas todas las cámaras con un área de ventilación efectiva menor que 120 cm² por cada 10 m² de fachada entre forjados, es decir, con una superficie de aberturas de 3600 mm².

Cuando una fachada disponga de una cámara con un área de ventilación efectiva comprendida entre 500 mm² ≤ $A_{efectiva}$ < 1500 mm², debe procederse de la siguiente manera:

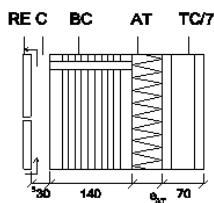
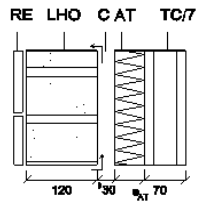
HE Para obtener U: Debe restarse 0,09 al denominador indicado en las tablas. Por ejemplo: 1/(0,52 + R_{AT} - 0,09).

HR Para obtener R_A y $R_{A,tr}$: Debe restarse 1 dB al valor de R_A expresado en la tabla.

Cuando una fachada disponga de una cámara con un área de ventilación efectiva comprendida entre 1500 mm² ≤ $A_{efectiva}$ < 3600 mm², debe procederse de la siguiente manera:

HR Para obtener R_A y $R_{A,tr}$: Deben restarse 2 dB al valor de R_A expresado en la tabla.

⁽¹¹⁾ Cuando la hoja principal sea de bloque o ladrillo de hormigón, salvo cuando sea curado en autoclave, el valor de la absorción de los bloques o ladrillos medido según el ensayo de UNE 41170:1989EX debe ser como máximo 0,32 g/cm³.

Código	Sección	Datos entrada	HS	HE ⁽²⁾	HR ⁽³⁾		
		RE	GI ⁽¹⁾	U (W/m ² K)	R _A (dBA)	m (kg/m ²)	R _{A,tr} (dBA)
F 7.11 PS		R2 o B3	5	$1/(0,94+R_{AT})$	47 [50]	191 [215]	44 [47]
F 7.13 PS		-	5	$1/(0,62+R_{AT})^{(4)}$	53 ⁽⁴⁾ [54]	343 ⁽⁴⁾	50 ⁽⁴⁾ [51]

⁽¹⁾ Cuando el aislante sea hidrófilo y se cumpla la condición R2, el GI disminuye un grado.

⁽²⁾ El factor de temperatura de la superficie interior, f_{Rsi} se calculará según la siguiente expresión: $f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25$.

⁽³⁾ En el caso de elementos de fábrica de ladrillo aparecen dos valores de m y de R_A , el primero de ellos es un valor mínimo y el segundo, que figura entre corchetes, es un valor medio.

⁽⁴⁾ Valores de U, m, R_A y de $R_{A,tr}$ para fábricas de bloque o ladrillo de hormigón convencional o bloques de áridos densos.

⁽⁶⁾ Valores válidos para bloques de picón de 25 cm de espesor con dos o tres cámaras.

⁽⁸⁾ Cuando la hoja principal sea de bloque o ladrillo de hormigón, salvo cuando sea curado en autoclave, el valor de la absorción de los bloques o ladrillos medido según el ensayo de UNE 41170:1989EX debe ser como máximo 0,32 g/cm³.

